

Міністерство освіти і науки України  
 Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)  
 Асоціація випускників Національного університету «Чернігівська політехніка»  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
 Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (Україна)  
 Херсонський національний технічний університет (Україна)  
 Луцький національний технічний університет (Україна)  
 Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)  
 Національний авіаційний університет (Україна)  
 Сумський державний університет (Україна)  
 Oerlikon Barmag GmbH (Німеччина)  
 ТОВ «ПЕТ Технологізіз» (Україна)  
 ТОВ «Костал Україна» (Україна)  
 Академія наук вищої освіти України  
 Лодзький технічний університет (Польща)  
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)  
 Thyssenkrupp Materials International GmbH (Німеччина)  
 Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)  
 Батумський державний університет ім. Шота Руставелі (Грузія)  
 Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)  
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
 Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування  
 Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
 військової техніки (Україна)



Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції  
**«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
 ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
 ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»**

Том 2

23 - 24 травня 2024 р.  
 м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004  
К63

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету  
«Чернігівська політехніка» (протокол № 6 від 27.05.2024)*

**Комплексне** забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –  
К63 2024) : матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції  
(м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська  
політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів :  
НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т. 2. – 368 с.

ISBN 978-617-7932-64-1

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Андрій Єрошенко, канд. техн. наук, доцент  
Ірина Прибитько, канд. техн. наук, доцент  
Анатолій Приступа канд. техн. наук, доцент  
Микола Корзаченко, канд. техн. наук, доцент  
Сергій Степенко, канд. техн. наук, ст. дослідник  
Ольга Сапон студентка

#### **Відповідальний координатор конференції:**

канд. техн. наук, доцент Сергій Сапон, тел. (097) 3844197, e-mail: [s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com) або  
[kzyatps@gmail.com](mailto:kzyatps@gmail.com)  
<https://www.facebook.com/kzyatps/>  
[www.conference-chernihiv-polytechnik.com](http://www.conference-chernihiv-polytechnik.com)

\*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори



УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004

ISBN 978-617-7932-64-1

© Національний університет  
«Чернігівська політехніка», 2024

**МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

доктор Шефер Клаус (Oerlikon Barmag, Німеччина)  
Дітмар Йенке (BBEngineering GmbH, Німеччина)  
Штильгер Мартін (ThyssenKrupp, Німеччина)  
д.-р. наук, проф. Бадіда Мирослав, (Технічний університет Кошице, Словаччина)  
д.-р. наук, проф. Вархола Міхал, (Президент Академічного співтовариства М. Балудянського, Словаччина)  
д.т.н., проф. Голетіані Кетаван (Батумський навчальний університет навігації, Грузія)  
д.т.н., проф. Ісмаїлов Нізамі (Азербайджанський технічний університет, Азербайджан)  
д.-р. наук, проф. Келемен Міхал, (Кошицький університет охоронного менеджменту, Словаччина)  
д.ф.н., проф. Новрузов Рафік (Бакінський слов'янський університет, Азербайджан)  
д.т.н., проф. Радзевич С.П., (EATON Corp., США)  
проф. Сандал Ян-Урбан (Ректор інституту ім. д-ра Яна-Урбана Сандала, Норвегія)  
д.т.н., проф. Федориненко Д. Ю. (Tohoku University, Японія)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

д.т.н., проф. Новомлинець О.О. (м. Чернігів, ректор НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Ступа В.І. (м. Чернігів, засновник конференції, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Анісімов В.М. (м. Дніпро, Український державний університет науки і технологій)  
д.т.н., проф. Антонюк В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Банзак О.В. (м. Одеса, Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку)  
д.т.н., проф. Білик С.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Бобир М.І. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Болотов Г.П. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Васильченко Я.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Веселовська Н.Р. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Винников Ю.Л. (м. Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»)  
д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Головка Л.Ф. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., доц. Грибков Е.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Грицай І.Є. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Данильченко Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Денисов Ю.О. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., с.н.с. Джала Р.М. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України)  
д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О. (м. Херсон, Херсонський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Долгов М.А. (м. Київ, Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України)  
д.т.н., проф. Дубенець В.Г. (м. Чернігів, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Дубровський М.П. (м. Одеса, Одеський національний морський університет)  
д.т.н., проф. Єременко В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Залога В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.т.н., проф. Заріцький О.В. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Звірко О.І. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України)  
д.т.н., доц. Зінко Р.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Іванов В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.геол.н., проф. Іванишин В.А. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д. (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Казимир В.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., доц. Казимиренко Ю.О. (м. Миколаїв, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова)  
д.т.н., проф. Калафатова Л.П. (м. Покровськ, Донецький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Кальченко В.І. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Кальченко В.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)

д.т.н., проф. Квасніков В.П. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Кириченко А.М. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Клименко Г.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Клименко С.А. (м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля НАН України)  
д.т.н., проф. Клочко О.О. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Ковалевський С.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Ковальов В.Д. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Козловський В.В. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Копей В.Б. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Копилов В.І. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
к.т.н., проф. Корнієнко М.В. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Корченко О.Г. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Криворучко О.В. (м. Київ, Державний торговельно-економічний університет)  
д.т.н., проф. Кузнєцов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Лавріненко В.І. (м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля НАН України)  
д.т.н., проф. Лебедев В. О. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України)  
д. держ. упр., проф. Левченко Н.М. (м. Запоріжжя, Національний університет «Запорізька політехніка»)  
д.т.н., проф. Луців І.В. (м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім. І Пулюя)  
д.т.н., проф. Маєвський В.О. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Мазанко В.Ф. (м. Київ, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України)  
д.т.н., проф. Майборода В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Марков О.Є. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Марчук В.І. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., доц. Мачуга О.С. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Мелешко Є.В. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Мироненко Є.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.філ. н., проф. Москаленко В.В. (м. Київ, Інститут психології імені Г.С. Костюка НАПН України)  
д.т.н., проф. Огінський Й.К. (м. Запоріжжя, Запорізький національний університет)  
д.т.н., проф. Онисько О.Р. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Онищенко В.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Орловський Б.В. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Охріменко О.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Павленко І.В. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.т.н., проф. Павленко П.М. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Пальчевський Б.О. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Панчук В.Г. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Пасічник В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Пермяков О.А. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Петраков Ю.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Певцов Г.В. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Пінчевська О.О. (м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України)  
д.т.н., проф. Пилипенко О.І. (м. Чернігів, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Плаван В.П. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Повстяной О.Ю. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Похмурська Г.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Равська Н.С. (м. Київ, почесна членкиня національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Рудь В.Д. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Савенко В.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)

д.т.н., проф. Савченко О.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Саленко О.Ф., (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Семенов С.Г. (м. Харків, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця)  
д.т.н., проф. Серета Б.П. (м. Кам'янське, Дніпровський державний технічний університет)  
д.т.н., проф. Сиза О.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т.Г.Шевченка»)  
д.т.н., проф. Смирнов І.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Ступницький В.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тітов В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Тіхенко В.М. (м. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка»)  
д.пед.н., проф. Ткач Ю.М. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тонконогий В.М. (м. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка»)  
д.т.н., с.н.с. Тристан А.В. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Фальченко Ю.В. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України)  
д.т.н., проф. Філоненко С.Ф. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Хавін Г.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Цюцюра С.В. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
к.т.н., доц. Чередніков О.М. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Чуприна В.М. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Чухліб В.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Цибуля С.Д. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Шевченко О.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Шинкаренко В.Ф. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Широков В.В. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Юдін О.К. (м. Київ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка)  
д.т.н., проф. Юзефович Р.М. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України)  
д.т.н. проф. Яремчук Л.А. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

*Організатори конференції висловлюють щиру подяку членам програмного комітету конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» за вагомий внесок в зростання авторитету і досягнення рівня найбільшої мультидисциплінарної міжнародної науково-практичної конференції України.*

**ЗМІСТ**

**СЕКЦІЯ 5**

**ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ.  
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

<b>Ihor Boyko, Volodimir Pashinskiy, Olena Pashinska.</b> Improving the quality of surfacing by using electrodes with carbon rods <i>LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Zaporizhzhia</i>	23
<b>Liutova O., Pavliuk Ye.</b> Increasing operational stability of fast-wearing cast parts of metallurgical equipment <i>National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia</i>	25
<b>Tsyurulnyk O. T., Demianchuk D. O., Bartoshevskiy D. P., Shtoiko I. P., Kurnat I. M., Zvirko O. I.</b> Strain aging of pipeline steels under operation: role of hydrogen <i>Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv</i>	26
<b>Anatoliy Zavdoveev<sup>1</sup>, Nataliia Strelenko<sup>2</sup>, Ji Junwen<sup>2</sup></b> Comparative analysis of cold metal transfer (CMT) modes in additive manufacturing of inconel 625 alloy <sup>1</sup> <i>E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv</i> <sup>2</sup> <i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>	27
<b>Sereda B.P., Udod A.M.</b> Formation of chrome coatings on press equipment under conditions of self-propagating high-temperature synthesis <i>Dnipro State Technical University, Kamianske</i>	28
<b>Sereda D.B.</b> Using functionally active charges for obtaining protective coatings on carbon composite materials <i>Dnipro State Technical University, Kamianske</i>	29
<b>Kruhliak I., Krivko R., Chuhno S.</b> Strengthening screws pressing device of mill stand 650 <i>Dnipro State Technical University, Kamianske</i>	30
<b>Sereda B., Bilozor I., Prolomov A., Skrebkov K.</b> Thermodynamic analysis of chromium coatings obtained under shs conditions <i>Dnipro State Technical University, Kamianske</i>	31
<b>Sereda B., Komendarov K., Kiforuk D., Babko I.</b> Thermodynamic analysis of the gaseous phase during siliconization under shs conditions <i>Dnipro State Technical University, Kamianske</i>	32
<b>Honcharuk O.O., Golovko L.F., Kagliak O.D., Milinchuk O.S.</b> Optimization of the relief of the working surface of the tool for applying the abrasive layer <i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>	33
<b>Honcharuk O.O., Golovko L.F., Kagliak O.D., Milinchuk O.S.</b> Thermo-deformation sintering of a drum-type abrasive tool for processing polymer composite sheet materials <i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>	35
<b>Honcharuk O.O., Golovko L.F., Kagliak O.D., Milinchuk O.S.</b> Laser sorting of abrasive materials SHM <i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>	37
<b>Haievskiy Oleh, Haievskiy Volodymyr, Kushnir Anton.</b> The effect of the implementation of the principles of lean production on the cycle time of the assembly and welding process <i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>	39

- N. Strelenko, Y. Chvertko, S. Minakov, A. Minakov, D. Stepanov, D. Vdovychenko, I. Vdovychenko, V. Opryshko, M. Melkovskiy** Quality assessment of flange type parts during 3D mag surfacing on a cylindrical pipe 40  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- D. Stepanov, S. Minakov, A. Minakov, Y. Chvertko, N. Strelenko, D. Vdovychenko, I. Vdovychenko, D. Biriuk, V. Novak** MIG/MAG additive manufacturing of rotating bodies 41  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- S. Minakov, A. Minakov, D. Stepanov, Y. Chvertko, N. Strelenko, D. Vdovychenko, I. Vdovychenko, A. Kuchyk, V. Yivzhenko** Adapting welding equipment for additive manufacturing tasks 43  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- Y. Chvertko, S. Minakov, A. Minakov, D. Stepanov, N. Strelenko, D. Vdovychenko, I. Vdovychenko, Y. Dudka, O. Kozlov, M. Shevchenko** Peculiarities of determining the criteria for evaluating cross-wire joints made by resistance spot welding 44  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- Фальченко Ю.В., Петрушинець Л.В., Федорчук В.Є., Костін В.А., Пузрін О.Л.** Дифузійне зварювання магнієвого сплаву МА2-1М в формуючих матрицях 45  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Клепо О.Ю., Демченков С.О., Устінов А.І., Самофалов О. В.** Фазові та структурні перетворення при нагріванні багат шарових фольг Ti/Cu евтектичного складу, отриманих методом EB-PVD 46  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Демченков С.О., Устінов А.І., Фальченко Ю.В., Петрушинець Л.В.** Виготовлення легких стільникових панелей на основі фольги високоентропійного сплаву CoCrFeNiSi<sub>0,2</sub>, отриманої методом EB-PVD 48  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Васильєв Д.В.** Оцінка стабільності горіння дуги при зварюванні електродами в прісній та морській воді 50  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Прокоф'єв О. С., Губатюк Р. С., Римар С. В., Пантелеймонов Є. О., Абдулах В. М.** Застосування індукційного зварювання тиском із активуючою речовиною при виконанні стикового з'єднання сталей різних видів 52  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Жерносеков А. М., Римар С. В.** Ефективність плавлення металу електрода при різних видах дугового зварювання 53  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Соловійов В.Г., Романова І.Ю.** Метод механізованого наплавлення у стаціонарному струмопідвідному кристалізаторі діаметром до 200 мм 54  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Башев В.Ф., Томін С.В., Катков Б.Р., Гурін І.В., Попіль О.І.** Вплив бінарного сплаву системи Al-Ni на показник абразивного стирання надвисокомолекулярного поліетилену 55  
*Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське*
- Широков В. В.<sup>1</sup>, Шахбазов Я. О.<sup>1</sup>, Білоус О.В.<sup>2</sup>** Формування вторинних структур на межі сталеві і дуралюмінової поверхонь за фрикційної взаємодії 56  
<sup>1</sup>*Українська академія друкарства, м. Львів*  
<sup>2</sup>*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*

- Головко В.В.<sup>1</sup>, Штофель О.О.<sup>1,2</sup>** Можливості використання методів статистичного аналізу для опису структури металу зварних швів 58  
<sup>1</sup> Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ,  
<sup>2</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Костін О.М.<sup>1</sup>, Мартиненко В.О.<sup>2</sup>** Ремонтне наплавлення валків зі сталей типу 45ХНМ та 42Х2ГСНМА 59  
<sup>1</sup> Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв  
<sup>2</sup> Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв
- Лебедєв В. О., Лой С.А., Спіхтаренко В.В.** Варіант вдосконалення роликowego механізму для подачі електродного дроту 62  
*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон*
- Лебедєв В. О., Єрмолаєв Г. В., Лой С. А.** Вплив імпульсної подачі електродного дроту на санітарно-гігієнічні характеристики процесу електродугового зварювання та наплавлення в СО<sub>2</sub> 64  
*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон*
- Лебедєв В. О.** Модель процесу зварювання з імпульсною подачею електродного дроту на основі нейромережових залежностей 66  
*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон*
- Фик С. В.** Вибір оптимального матеріалу та методів зварювання інструментальних блоків для подрібнювальних валів у виробництві обладнання для переробки відходів 69  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Томіна А.-М.В., Єрмоїна К.А., Єрмоєнко О.В., Чешенко Є.Д.** Оптимізація режимів експлуатації графітопласту 70  
*Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське*
- Казмиренко Ю. О., Лебедєва Н. Ю.** Пріоритетні напрямки матеріалознавства для вирішення проблемних питань суднобудування та судноремонту 71  
*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв*
- Копилов В.І.<sup>1</sup>, Кузін О.А.<sup>1</sup>, Кузін М.О.<sup>2,3</sup>** Деякі питання щодо процесів розтріскування та відшарування багатокomпонентних плазмових покриттів 73  
<sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ  
<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів  
<sup>3</sup> Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів
- Болотов М.Г., Болотов Г.П., Руденок Я.О.** Проблеми плазмового азотування сталевих виробів 76  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Широкий Ю.В., Торосян О.В., Торосян-Жидєєва Г.Д.** Визначення оптимальних параметрів лазера для отримання наноструктур у поверхневих шарах вуглецевих сталей 78  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків*
- Широкий Ю.В., Торосян О.В., Жидєєв П.Р.** Теоретичне дослідження теплових процесів у зоні дії лазерного випромінювання при отриманні наноструктур на сталях 79  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків*



- Музика О.О., Єфімов М.О., Захарова Н.П., Гончарук В.А.** Поліпшення комплексу механічних та корозійних властивостей високоміцних сплавів алюмінію, що деформуються типу 5XXX 80  
*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, м. Київ*
- Широкий Ю.В., Фесенко Є.І.** Теоретичне дослідження впливу енергії кристалізації на утворення наноструктур у поверхневих шарах алюмінію 81  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків*
- Мельниченко Т.В., Устінов А.І., Самофалов О.В.** Дифузійне з'єднання титанового сплаву тіб-4 через проміжний багатшаровий прошарок евтектичного складу на основі системи Ті-Си 82  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Майданчук Т.Б., Лук'яненко Є.П., Ганчук А.В., Степченко Д.М.** Дослідження особливостей високопродуктивного дугового зварювання низьколегованих сталей з комбінованим захистом зварювальної ванни 84  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Болотов Г.П., Прибитько І.О., Гречка В.В., Чабан Є.Є., Ососок М.О.** Вдосконалення процесу дифузійного зварювання у плазмі тліючого розряду 85  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Говорун Т.П., Пахненко Д.В., Ханюков К.С., Варакін В.О., Масалітова К.І.** Дослідження наноструктурованих покриттів на основі нітридів 86  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Герциркен Д.С., Мазанко В.Ф., Зайцева Н.В., Богданов С.Є.** Розподіл атомів за глибиною дифузійної зони металів при пружних деформаціях 88  
*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ*
- Герциркен Д.С., Мазанко В.Ф., Зайцева Н.В., Богданов С.Є.** Вплив квазистатичних деформацій на рухливість і розподіл атомів у метали 91  
*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ*
- Лампіцький О.С.** Оцінка технічного стану надземних ділянок трубопровідного транспорту 93  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Тунік А.Ю., Адєєва Л.І., Коржик В.М., Строгонов Д.В., Костін В.А., Григоренко С.Г.** Структура та властивості інтерметалідних порошоків системи Fe- Al, отриманих плазмово-дуговою сфероїдизацією струмопровідного дроту для 3D-друку 94  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ*
- Смірнов О.М., Нарівський А.В., Ухін С.В., Туник В.О.** Рафінована мідь для робочих стінок кристалізаторів МБЛЗ 95  
*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ*
- Савонов Ю.М., Івахненко Є.І., Калінін Д.І.** Зварюваність високолегованих ферито аустенітних сталей 96  
*Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя*
- Гончарук В.А., Єфімов М.О., Гончарова І.В., Поперенко Т.В.** Визначення критичної швидкості пробиття захисних елементів з високоміцних сплавів алюмінію 97  
*Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ*

- Гончарук В.А., Єфімов М.О., Цивіліцин В.Ю., Поперенко Т.В.** Вивчення процесів руйнування в керамічних матеріалах методом акустичної емісії 99  
*Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ*
- Панчук М.В.<sup>1</sup>, Шлапак Л.С.<sup>1</sup>, Гринюк Н.М.<sup>2</sup>, Овсяников В.В.<sup>3</sup>** Нові підходи в індустрії виробництва пластмасових труб 101  
<sup>1</sup> *Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*  
<sup>2</sup> *Підприємство МОТ, м. Івано-Франківськ*  
<sup>3</sup> *НВП “УКРТРУБІЗОЛ”*
- Панчук А.М.<sup>1</sup>, Панчук М.В.<sup>1</sup>, Олексієнко С. В.<sup>2</sup>** Особливості використання лазерного зварювання 102  
<sup>1</sup> *Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*  
<sup>2</sup> *Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Панчук Т.М.<sup>1</sup>, Солярчук І.М.<sup>2</sup>, Панчук М.В.<sup>2</sup>** Перспективи використання оптичних волокон 104  
<sup>1</sup> *Університет Короля Данила, м. Івано-Франківськ*  
<sup>2</sup> *Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*
- Кушнарєва О.С., Берднікова О.М., Половецький Є.В., Алексеєнко І.І., Кушнарєва Т.М.** Структурні особливості поверхневого шару інструментальної штампової сталі після іспульсно-плазмової обробки 106  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*
- Рутковський А.В.<sup>1</sup>, Лопата Л.А.<sup>1</sup>, Радько О.В.<sup>2</sup>** Вплив підвищення зносостійкості іонно-азотованих шарів на довговічність елементів трибосистем 108  
<sup>1</sup> *Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Національний університет оборони України, м. Львів*
- Махненко О. В., Царик Б.Р.** Врахування розміцнення матеріалу при розрахунковому визначенні залишкових напружень при зварюванні алюмінієвого сплаву 2219-T81 110  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*
- Кулініч М.В., Косінцев С.Г., Устінов А.І.** Вплив теплообміну в контактах на температурні поля при локальному нагріванні зони з'єднання пластин АМГ6 у процесі їх паяння 112  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*
- Кулініч М.В., Кременчутський О. С., Клепко О.Ю.** Вплив умов електронно-променевого осадження покриттів Co-35 ваг.% Ni на їх дисипативні властивості 113  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*
- Руденко Н.В., Руденко О.Л.** Нанесення зносостійких покриттів на інструмент 114  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*
- Смирнов І.В.<sup>1</sup>, Чорний А.В.<sup>1</sup>, Лисак В.В.<sup>1</sup>, Сопленко Т.О.<sup>1</sup>, Селіверстов І.В.<sup>2</sup>** Залишкові напруження в титанових сплавах в процесі імпульсного іонно-плазмового азотування 115  
<sup>1</sup> *Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*  
<sup>2</sup> *Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*

- Єфімов М.О., Грінкевич К.Е., Воскобойнік І.В.** Дослідження структури та властивостей покриттів з евтектичних сплавів системи Al-Ti-Cr на основі кубічного L1<sub>2</sub> інтерметаліду 117  
*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України, Київ*
- Берднікова О.М.<sup>1</sup>, Кушнарєва О.С.<sup>1</sup>, Алексеєнко Т.О.<sup>1</sup>, Газнюк Ю.С.<sup>1</sup>, Гурнік О.О.<sup>2</sup>** Структурні особливості металу зварних з'єднань сталі спеціального призначення при високочастотному механічному проковуванні поверхні 118  
<sup>1</sup>*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,*  
<sup>2</sup>*Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інженерії та зв'язку НАУ», м.Київ*
- Кавуніченко О.В., Антіпін Є.В., Дідковський О.В., Левчук А.М., Шило Ю.А.** 120  
Дослідження розподілу пластичності металу в зоні термічного впливу зварного з'єднання залізничних рейок при випробуваннях на статичний вигин  
*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ*
- Гіржон В.В.<sup>1</sup>, Бриков М.М.<sup>1</sup>, Климов О.В.<sup>1</sup>, Капустян О.Є.<sup>1</sup>, Єфременко О.В.<sup>2</sup>** 121  
Визначення вмісту вуглецю в ОЦК твердому розчині на основі заліза за результатами XRD дослідження  
<sup>1</sup>*Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя*  
<sup>2</sup>*ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, м. Дніпро*
- Антіпін Є.В., Дідковський О.В., Кавуніченко О.В., Левчук А.М., Шило Ю.А.** 122  
Дослідження дефектів, що виникають при КСЗО сучасних залізничних рейок високої зносостійкості  
*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ*
- Зяхор І.В., Антіпін Є.В., Левчук А.М., Шило Ю.А., Кольцов В.В., Завертанний М.С.** 124  
Встановлення причин руйнування зварних стиків рейок методами фактографічного аналізу поверхонь зламу  
*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ*
- Костін В.А.<sup>1</sup>, Жуков В.В.<sup>1</sup>, Ремінний М.П.<sup>2</sup>** Модифікування металу зварних швів сталей та сплавів 126  
<sup>1</sup>*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*  
<sup>2</sup>*Київський академічний університет, Київ*
- Максимов С.Ю., Прилипко О.О., Шепелюк Ю.А.** Застосування програмного забезпечення для розрахунку оптимізованих режимів зовнішнього електромагнітного впливу при зварюванні під водою 126  
*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*
- Морозова Г. С., Матюшин В. О.** Постановка натурного і обчислювального експериментів дослідження міцності пресованих порошкових біметалів 127  
*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова м. Миколаїв*
- Гаркуша М.В.** Особливості технологій дифузійного зварювання 129  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*

## СЕКЦІЯ 6

### СУЧАСНІ ЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВНИЦТВІ, АРХІТЕКТУРІ ТА ДИЗАЙНІ. ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

- Mosicheva I.I., Shabalina A.** General trends in manifestation of landscapes in different conditions based on analysis of world research 131  
*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa*
- Iryna Bezklubenko<sup>1</sup>, Olena Balina<sup>1</sup>, Galina Getun<sup>1</sup>, Yuriy Butsenko<sup>2</sup>** Features static calculation of arches 132  
<sup>1</sup> *Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*  
<sup>2</sup> *National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- Ihor Petrenko, Daryna Zinchenko, Sitko Maksym, Timur Hanieiev** Photogrammetry in the preservation of cultural and historical heritage. Methodology and perspectives 134  
*Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv*
- Kochevykh Maryna, Honchar Olha, Anopko Dmytro** Features of using recycled concrete in restoration works 136  
*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*
- Болотов М.Г., Болотов Г.П., Нагорна І.В.** Біомімікрія як інноваційний метод виготовлення бетону 137  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Савенко В.І., Нестеренко І.С., Ткачук В.М.** Цілі як формуючий фактор виробничої (будівельної) організації 138  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Шатрова І.А., Демидова О.О., Мальонкіна І.С.** Задачі забезпечення якості процесів будівництва 139  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Войтович В.А.** Рекомендації та практичні поради щодо впровадження оптимізації будівельної організації у виробничих середовищах 141  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Сахно Є.Ю., Терещук О.І., Коваленко С.В.** Використання систем дистанційного зондування землі 142  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Мозговий А.О., Бутенко А.А.** Досвід дослідження осідань основи фундаментів сталевих силосів 144  
*Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків*
- Тонкачєв Г.М., Носач К.В.** Порівняння ефективності технології влаштування збірно-монолітних стовпчастих фундаментів 146  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Винников Ю.Л.<sup>1</sup>, Харченко М.О.<sup>1</sup>, Марченко В.І.<sup>2</sup>** До оцінювання впливу нової будівлі на існуючу будівлю 148  
<sup>1</sup> *Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава*  
<sup>2</sup> *ТОВ «Науково-технічне підприємство «Альмагруп»*

<b>Винников Ю.Л.<sup>1</sup>, Харченко М.О.<sup>1</sup>, Кічасов О.С.<sup>1</sup>, Марченко В.І.<sup>2</sup></b> Особливості вирішення конструкцій фундаментів металевих силосів на майданчиках різної геотехнічної складності	150
<i><sup>1</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава</i>	
<i><sup>2</sup> ТОВ «Науково-технічне підприємство «Альмагруп»</i>	
<b>Терещук О.І., Заворотний С.М.</b> Аналіз можливості виконання земляних робіт в археологічних зонах за допомогою сучасного геодезичного обладнання	152
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
<b>Заворотний С.М.</b> Особливості землеустрою в умовах воєнного стану	153
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
<b>Барбаш М.І.</b> Комп'ютерні технології моделювання та візуалізації: сучасні тенденції від дизайн-проектування до продажу одягу	155
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
<b>Білик С.І., Білик А.С., Цюпин Є.І.</b> Вплив початкових недосконалостей на стійкість пружних стрижнів сталевих ферм з жорсткими вузлами	157
<i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Титок В.В., Ємельянова О.М.</b> Використання аспектів сустейнізму в будівельному виробництві	158
<i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Скрипник В.Л.</b> Дослідження споживчих властивостей сумішей для самовирівнюючої підлоги на гіпсовій основі, які представлені на ринку України	160
<i>Київський Національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Ігнатенко О.О.</b> Вдосконалення технологічних рішень зведення великопрогонових покриттів підйомними модулями	163
<i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Нужний В.В.</b> Аналіз впливу вихрового вітрового збудження на баштові споруди	165
<i>Київський Національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Ластівка О.В., Смоглій А.Г.</b> Бетонні суміші на основі модифікованих портландцементів для адативної технології	167
<i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	
<b>Гасенко Л.В.<sup>1</sup>, Слонь В.В.<sup>1</sup>, Дарієнко В.В.<sup>2</sup></b> Застосування рецикльованих будівельних матеріалів для відновлення будівель та споруд	168
<i><sup>1</sup> Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон</i>	
<i><sup>2</sup> Центральнотрапезький національний технічний університет, м. Кропивницький</i>	
<b>Гасенко А.В.<sup>1</sup>, Фенко О.Г.<sup>1</sup>, Бібік М.В.<sup>2</sup>, Падун Ю.С.<sup>2</sup></b> Типи антенних споруд мобільного зв'язку	169
<i><sup>1</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава</i>	
<i><sup>2</sup> ТОВ «СОЛІД ПОЛТАВА», м. Полтава</i>	
<b>Іванишин В.А.</b> Зони розуцілення в осадових породах палеозою на нафтогазових родовищах Глинсько-Розбишівського валу в Дніпровсько-Донецькій западині	170
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
<b>Корнієнко І.В., Корнієнко С.П.</b> Дорожньо-транспотна геоінформаційна система	171
<i>м. Чернігова</i>	
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	

- Завацький С.В., Павленко В.В., Кухаренко С.І.** Комп'ютерне моделювання архітектурно-художніх елементів екстер'єру знищеної Вознесенської церкви  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів* 173
- Підгурський М.І., Підгурський І.М.** Дослідження впливу геометричних параметрів отворів на міцність та жорсткість двотаврових балок з синусоїдальною перфорацією  
*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль* 177
- Корзаченко М.М., Олексієнко С.В., Прибитько І.О., Ющенко С.М.** Відновлення несучої здатності залізобетонних елементів каркасних споруд  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів* 179
- Білик А.С.** Захист об'єктів критичної інфраструктури при підземному розташуванні згідно державної концепції «Країна-фортеця»  
*Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, управління інноваційних проєктів ЦВНУ ГШ ЗСУ* 181
- Біляєв М.М., Козачина В.В.** Чисельне моделювання роботи дренажу на підтоплених територіях  
*Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро* 182

## СЕКЦІЯ 7

### РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕЛЕКТРОНІКА. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА.

- Шинкаренко В.Ф., Шиманська А.А., Котлярова В.В.** Інноваційні освітні технології в електричній інженерії  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ* 184
- Закладний О.О., Пухальський С.В.** Бенчмаркінг енергоефективності електромеханічних систем  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ* 188
- Григор'єв Ю.І.<sup>1</sup>, Куроп'ятник І.П.<sup>1</sup>, Григор'єв І.Є.<sup>2</sup>** Наукове обґрунтування нейромережевого моделювання показників роботи гірничо-видобувного кластеру  
<sup>1</sup> *Криворізький національний університет, м. Кривий ріг*  
<sup>2</sup> *ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя* 190
- Гайда С.В.** Встановлення показника циркулярності в лісовому секторі  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів* 191
- Ігнатишин В.В.<sup>1,2</sup>, Малицький Д.В.<sup>1</sup>, Іжак Т.Й.<sup>2</sup>, Молнар С.С.<sup>2</sup>, Рац А.Й.<sup>2</sup>,  
Купльовський Б.Є.<sup>1</sup>, Прокопишин В.І.<sup>1</sup>, Ігнатишин М.Б.<sup>1</sup>, Ігнатишин А.В.<sup>1</sup>,  
Олещук О.<sup>1</sup>** Зв'язок геофізичних параметрів закарпатського внутрішнього прогину та варіацій астрофізичних величин за 2023 рік  
<sup>1</sup> *Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів*  
<sup>2</sup> *Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II* 192
- Бардін О.О., Бардіна О.О.** Технологія очищення водойм від синьо-зелених водоростей  
*Інвестиційне геолого-технологічне підприємство «ГЕОІД», м. Чернігів* 195
- Чоботько І.І.** Роль роботів у гірничодобувній галузі підвищення продуктивності та забезпечення безпеки  
*Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ, м. Дніпро* 197

<b>Ізмоденова Т.І., Вакал В.С., Шепета К.О., Вакал С.В.</b> Розробка концепції екологічно безпечних добрив на основі природних компонентів та золи біогенного походження <i>Науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів Сумського державного університету, м. Суми</i>	199
<b>Денисов Д.Ю., Денисова Н.М.</b> Забезпечення техніко-екологічної безпеки шляхом формування корисних звичок <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	201
<b>Бойко С.М.<sup>1</sup>, Котов О.Б.<sup>1</sup>, Лапіна О.С.<sup>2</sup>, Реута А.В.<sup>2</sup></b> Сучасне електронне обладнання для забезпечення належного рівня авіаційної безпеки в аеропорту <sup>1</sup> <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i> <sup>2</sup> <i>Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук</i>	202
<b>Бойко С.М.<sup>1</sup>, Котов О.Б.<sup>1</sup>, Лапіна О.С.<sup>2</sup>, Реута А.В.<sup>2</sup></b> Контроль технічного стану резервуарного парку складів пально-мастильних матеріалів з використанням сучасних електронних засобів <sup>1</sup> <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i> <sup>2</sup> <i>Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук</i>	203
<b>Жуков О.А., Барановський Я.О.</b> Сучасні системи керування тролейбусів <i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця</i>	204
<b>Жуков О.А., Некрутенко В.О.</b> Аспекти модернізації електромеханічні системи пасажирського ліфта <i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця</i>	205
<b>Дорошенко Я.В.<sup>1</sup>, Стецюк С.М.<sup>1</sup>, Іванов О.В.<sup>1</sup>, Філіпчук О.О.<sup>2</sup></b> Експериментальні дослідження динаміки руху очисних поршнів із гіперпружних матеріалів фасонними елементами трубопроводів <sup>1</sup> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ</i> <sup>2</sup> <i>Акціонерне товариство «Укргазвидобування»</i>	206
<b>Єщенко О.І., Виноградов-Салтиков В.А.</b> Концепція автономної локальної енергетичної системи, як інструмента критичної енергоінфраструктури <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	208
<b>Єщенко О.І., Кругленко І.І.</b> Інтегрована локальна система енергопостачання для промислового підприємства <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	210
<b>Шумило Андрій, Байцар Роман.</b> Технологія автоматизації поливу для рослинництва, садівництва та сільського господарства <i>Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів</i>	212
<b>Дрозд О.В., Андрєєва Н.Б., Карпасюк О.О.</b> Експертні і технологічні задачі рециклінгу відходів руйнації <i>Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв</i>	214
<b>Бодунов В.М., Кулько Т.В.</b> Аналіз можливості додаткового резервування системи електропостачання багатоквартирного будинку з електроопаленням <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	216
<b>Приступа А.Л., Кулик Б.І., Борсук В.А.</b> Особливості використання Tesla Powerwall для забезпечення живлення відповідальних електроприймачів <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	217

<b>Русакова Т.І., Кебус С.В.</b> Раціональне використання води в житлових будинках <i>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро</i>	219
<b>Сатюков А.І., Приходько М.В.</b> Дослідження електромагнітного смогу в місті Чернігів <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	221
<b>Приступа А.Л., Будник В.В.</b> Алгоритм розробки навчального модуля віртуальної реальності для електроенергетики <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	222

## СЕКЦІЯ 8

### ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ. КІБЕРБЕЗПЕКА. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ.

<b>Rzaieva S.<sup>1</sup>, Rzaiev D.<sup>2</sup>, Kovalyova L.<sup>1</sup></b> The impact of multi-factor authentication on protecting confidential information in cloud storage <sup>1</sup> <i>State University of Trade and Economics, Kyiv</i> <sup>2</sup> <i>Kyiv National Economic University, Kyiv</i>	225
<b>Anatoliy Davidenko<sup>1</sup>, Vlad Lubin<sup>2</sup></b> Optimization of energy-efficient object recognition algorithm for the K210 chip <sup>1</sup> <i>Institute of Modeling Problems in Energy named after G.E. Pukhov, Kyiv</i> <sup>2</sup> <i>Taras Shevchenko National University of Kyiv</i>	227
<b>Anna Pavlik, Inna Sardardinova, Maria Dotsenko,</b> Combinatory research test plans <i>National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv</i>	228
<b>Yu Bojian</b> Development of the design and control system of a bionic fish robot <i>Zhejiang Ocean University, Zhoushan, China</i>	229
<b>Khrystyna Borodkina, Andrii Pavlyshko, Andrii Shakulia</b> Exploring Immersive landscapes terrain development in unity <i>Odesa Polytechnic National University, Odesa</i>	230
<b>Nimych O.V., Ihor Makieiev</b> Aerodynamic heating and dielectric layer behavior in flat fairing antennas <i>The National Aviation University, Kyiv</i>	232
<b>Білашов К.Ю.</b> Цифрова трансформація в логістиці: автоматизація та цифрові технології у галузі деревообробки та меблевому виробництві <i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	234
<b>Самчук Л.М., Повстяна Ю. С., Міронов Н. О.</b> Використання UML діаграми для автоматизованої системи процесу контролю робота в реальному часі <i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>	236
<b>Красько Б.В., Грицюк П.М.</b> Оптимізація масштабування Amazon EC2 за допомогою штучного інтелекту <i>Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне</i>	237
<b>Яворський І.М.<sup>1,2</sup>, Юзефович Р.М.<sup>1,3</sup>, Комарницький Б.М.<sup>1</sup>, Личак О.В.<sup>1</sup>, Мацько І.Й.<sup>1</sup></b> Вібраційна діагностика обертових вузлів машинних комплексів <sup>1</sup> <i>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів</i> <sup>2</sup> <i>Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща</i> <sup>3</sup> <i>Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів</i>	239



- Черчик Г.Т.<sup>1,2</sup>, Яворський І.М.<sup>1,3</sup>, Личак О.В.<sup>1</sup>, Слєпко Р.Т.<sup>1</sup>, Юзефович Р.М.<sup>1,2</sup>** 240  
Спосіб пониження вібраційного навантаження на опори конструкцій  
<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів  
<sup>2</sup> Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів  
<sup>3</sup> Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща
- Семенов П.О.<sup>1</sup>, Яворський І.М.<sup>2,3</sup>, Личак О.В.<sup>2</sup>, Юзефович Р.М.<sup>2,4</sup>, Комарницький Б.М.<sup>2</sup>** Переваги вібраційних методів діагностики механізмів порталних кранів 241  
<sup>1</sup> Одеський національний морський університет, м. Одеса,  
<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів  
<sup>3</sup> Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща  
<sup>4</sup> Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів
- Мельник А.М., Мелешко Є.В., Ткачук Р.О.** Дослідження програмних інструментів для вимірювання психологічного впливу на користувачів у комп’ютерних іграх 242  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*
- Ладоня В.Г., Мелешко Є.В., Якименко М.С.** Інтелектуальний веб-сервіс для вивчення іноземної мови методом інтервальних повторень 243  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*
- Міхав В.В.<sup>1</sup>, Мелешко Є.В.<sup>2</sup>** Метод пошуку та фільтрації даних рекомендаційною системою для формування пропозицій користувачам однорангових децентралізованих комп’ютерних мереж 245  
<sup>1</sup> ПУ «Університет науки, підприємництва та технологій», м. Київ  
<sup>2</sup> Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
- Жирова Т.О., Котенко Н.О., Тептюк О.Ю.** Організація процесів контролю якості програмного забезпечення в ентерпрайз середовищі 247  
*Державний торговельно-економічний університет, м. Київ*
- Грабовський О.В., Литвиненко Т.В.** Проблеми у системі простежуваності під час експорту зернових. Технологія Blockchain для захисту від шахрайства 249  
*Державний університет інтелектуальних технологій і зв’язку, м. Одеса*
- Кіркопуло К.Г., Торопенко О.В., Белоус А.О.** Інтеграція штучного інтелекту в систему транспортної логістики 250  
*Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса*
- Ярещенко В.В., Косенко В.В.** Граф-орієнтований алгоритм формування енергоефективних кодів 253  
*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава*
- Терентьєв О.О., Соловей Б.А.** Фактори ризику в інформаційній технології оцінювання ризиків аварії баштового крану під час експлуатації 254  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Антоненко Я.С., Д’яченко О.Ю.** Підвищення якості організації навчального процесу за рахунок використання сучасних інформаційних технологій 256  
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*
- Курдеча В.В., Поковба О.Ю.** Інтеграція LoRaWan з мережею 5G 258  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ*

<b>Пантелєєва Н.М., Дудник Т.Г., Климок Ю.П.</b> Упровадження сучасних інформаційних систем в практику випробувань озброєння та військової техніки <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки м. Черкаси</i>	259
<b>Кучеренко В.Л.</b> Ремонтпридатність при проектуванні медичних виробів як фактор забезпечення ефективності прогнозування їх технічного стану <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	261
<b>Джала Р.М., Джала В.Р., Вербенець Б.Я., Мельник М.І.</b> Контроль притикорозійного захисту підземних трубопроводів безконтактним методом <i>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів</i>	263
<b>Ковальчук В.І.</b> Методи побудови та взаємодії структурних одиниць медичних інформаційних систем <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	264
<b>Чанєва М.Д., Бабич Ю.І., Накоряков О.Г.</b> Використання штучного інтелекту в процесі проектування веб-сайту з метою поліпшення його функціональності <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	265
<b>Іванець О.Б., Свєженець В.О.</b> Метод оцінювання функціонального стану біологічної системи <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	267
<b>Резніченко О.А.<sup>1</sup>, Магу О.М.<sup>2</sup>, Даниленко О.В.<sup>2</sup>, Мирюгін В.І.<sup>2</sup>, Бритов Д.М.<sup>2</sup></b> Удосконалення алгоритму автоматичної класифікації повітряних цілей в автоматизованих системах управління повітряних сил <i><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків</i> <i><sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси</i>	268
<b>Іванець О.Б., Буриченко М.Ю., Архирей М.В., Золотенкова Т.В., Тирпак А.О.</b> Метод прийняття рішень щодо стану біологічного об'єкту <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	270
<b>Ткаченко О.С., Мелешко Є.В., Шуліка Я.П.</b> Метод обробки текстових запитів до генеративних нейронних мереж <i>Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький</i>	272
<b>Савченко Т.В.<sup>1</sup>, Власенко Л.О.<sup>1</sup>, Луцька Н.М.<sup>2</sup></b> Аналіз ризиків в системах промислового інтернету речей <i><sup>1</sup> Державний торговельно-економічний університет, м. Київ</i> <i><sup>2</sup> Національний університет харчових технологій, м. Київ</i>	274
<b>Єременко В.С.<sup>1</sup>, Монченко О.В.<sup>2</sup>, Монченко Т.М.<sup>1</sup></b> Інформаційна модель об'єкта дослідження в ендокринологічних дослідженнях <i><sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> <i><sup>2</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	276
<b>Рибак О.В., Мукомол В.І., Клепацька А.О.</b> Вплив штучного інтелекту на персоналізацію та конверсію в інтернет-комерції <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	278
<b>Роговенко А.І., Ткаченко К. О.</b> Мережева підсистема Mesh в системі управління роєм дронів <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	280

<b>Павлов О.А., Кобельський В.В.</b> Методологія використання універсальних методів прийняття рішень в умовах невизначеності <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	281
<b>Пастернак В.В.</b> Вибір мови програмування для реалізації автоматизації в ІТ-індустрії <i>Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк</i>	284
<b>Клименко А.В.<sup>1</sup>, Анісімов В.В.<sup>2</sup>, Анісімов В.М.<sup>2</sup></b> Розробка роботизованої системи для визначення кольорів з врахуванням зовнішніх факторів <i><sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка», м. Дніпро</i> <i><sup>2</sup> Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро</i>	286
<b>Корчан В.М., Морозова І.В.</b> Експериментальне дослідження імітаційної моделі в архітектурі цифрових об'єктів <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	288
<b>Салімов Р.М., Морозова І.В., Плуговий А.О.</b> Моделювання режимів контролю резервуваних елементів авіаційних систем на основі використання інформації датчиків IoT <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	290
<b>Роговенко А.І., Веремєнко В.В.</b> Програмні реалізації методів виявлення та ідентифікації малих безпілотних апаратів <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	291
<b>Літвінов В.Ф., Галаш М.В., Мельнік Д.В.</b> Вплив технологій штучного інтелекту на дизайн та геймплей комп'ютерних ігор <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	293
<b>Кузьміч О.Є., Аркушенко П.Л., Андрушко М.В.</b> Визначення теплофізичних властивостей маскувальних комплектів за допомогою термографічної системи <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси</i>	296
<b>Акимов О.О., Чуприна В.М., Собора А.І., Холодний Р.В.</b> Щодо надійності програмного забезпечення <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки м. Черкаси</i>	298
<b>Войтовецька М.Є., Квятковський Р. С., Іванов Д.Д.</b> Ефективність та порівняння агільних методологій управління ІТ-проектами з традиційними підходами <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	299
<b>Рибак О.В.</b> Застосування технології Java Message Service у розподілених системах <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	301
<b>Серік О. А., Гайдаєнко О.В.</b> Огляд програмного забезпечення для управління змістом ІТ проектів <i>Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв</i>	303
<b>Кисилевська А.Ю., Левицький І.Ю.</b> Порядок експертного обстеження та інспекційного контролю автоцистерн для перевезення небезпечних вантажів <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	304
<b>Гнетєв К.Ю., Шликов В.В.</b> Інтеграція штучної нейронної мережі в мікроконтролерну систему для керування протезами пальців верхньої кінцівки <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ</i>	306

<b>Байцар Р.І., Топчак Н.В.</b> Процесний підхід до вдосконалення нормативного забезпечення якості зерна пшениці <i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>	307
<b>Соловей О.Л.</b> , Метод оцінки моделі класифікації технічного стану об'єктів будівництва <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	308
<b>Майданик О.О., Мелешко Є.В., Мацуй А.М.</b> Тестування генератора псевдовипадкових чисел на основі більярда Синая <i>Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький</i>	310
<b>Герашенко М.О., Тарасенко Я.В., Заєць І.І.</b> Ефективність використання термопар для вимірювань температури в процесі кліматичних випробувань <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси</i>	312
<b>Дранник П.А.<sup>1</sup>, Рошупкін Є.С.<sup>2</sup>, Кукобко С.В.<sup>3</sup>, Герасимов С.В.<sup>4</sup></b> Удосконалення організації та проведення відновлення радіотехнічних засобів в особливий період в екстремальних умовах <sup>1</sup> <i>Національний університет оборони України, м. Київ</i> <sup>2</sup> <i>Харківський національний університет Повітряних Сил, м. Харків</i> <sup>3</sup> <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси</i> <sup>4</sup> <i>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків</i>	313
<b>Кайдик О.Л.<sup>1</sup>, Терлецький Т.В.<sup>1</sup>, Кондіус І.С.<sup>1</sup>, Меус О.С.<sup>1</sup>, Остапюк В.В.<sup>2</sup></b> До питання стандартизації захисту інформації в інформаційних системах <sup>1</sup> <i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i> <sup>2</sup> <i>ВСП «Технічний фаховий коледж ЛНТУ», м. Луцьк</i>	315
<b>Кравченко А.О., Степенко С.А.</b> Сучасні методи та технології інформаційно-вимірювальних систем, впровадження штучного інтелекту в інформаційно-вимірювальні системи <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	317
<b>Скопінцев О.О., Овчаренко О.Ю., Ткачук О.А., Мелешенко О.В., Оборонов М.І.</b> Застосування технічних засобів при підготовці фахівців з експлуатації та ремонту радіотехнічних систем до дій в особливих умовах <i>Харківський національний університет Повітряних Сил, м. Харків</i>	319
<b>Копей В.Б., Пронюк І.В.</b> Реалізація методики системного аналізу за допомогою Python та Jupyter для проектування металополімерних з'єднань <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ</i>	321
<b>Твердовський І.О., Степенко С.А.</b> Огляд архітектур системи збору статистичних даних з сонячних електростанцій <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	323
<b>Гончаренко М. В., Міхайлуца О.М.</b> Застосування патернів проектування в системах складання транспортних засобів <i>Запорізький національний університет, м. Запоріжжя</i>	325

- Андрушко А.М., Кузнецов В.О., Аркушенко П.Л., Андрушко М.В.** 327  
Обґрунтування напрямків та доцільності скорочення обсягу випробувань ОВТ в особливий період  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*
- Оксенюк С.Р., Пастернак В.В.** Роль штучного інтелекту в майбутньому розвитку 329  
інформаційних технологій  
*Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк*
- Третяк В.В., Нижник С.М., Голуб О.В.** Програмний модуль для розрахунків 330  
елементів ТП з використанням метода структурно – аналітичних моделей  
розпізнавання подоби  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків*
- Тертишнік Є.М., Потапов О.І., Кузьміч О.Є., Мішок А.А.** Шляхи покращення 332  
функціонування засобів відеореєстрації повітряних суден в умовах особливого  
періоду  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## СЕКЦІЯ 9

### ЕКОНОМІЧНІ, ПРАВОВІ ТА СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ. ПРОБЛЕМИ ОСВІТИ.

- Serhii Prystynskiy<sup>1,2</sup>, Viktoriia Plavan<sup>1</sup>, Andrii Hrytsenko<sup>1,2</sup>** Total productive 334  
maintenance as an approach to enhance technological processes and systems  
<sup>1</sup> *Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup> *KOSTAL Ukraine LLC, Pereiaslav, Ukraine*
- Zemlyanska O.V., Polukarov Yu.O., Polukarov O.I., Kovtun A.I.** New security 336  
strategies for the protection of the civilian population in conditions of full-scale war  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*
- Sereda B., Zuzin Y., Orel V.** Economic aspects of transportation management efficiency 338  
in metallurgy  
*Dnipro State Technical University, Kamianske*
- Лаппо І.М.<sup>1</sup>, Чередніков О.М.<sup>2</sup>** Система управління якістю протимінної діяльності 339  
<sup>1</sup> *Центр протимінної діяльності, м. Чернігів*  
<sup>2</sup> *ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*
- Кузнецов Ю. М.** Підготовка молодшої технічної еліти України в умовах сучасності 342  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Дмитрієв Д.О., Сімінченко І.П., Осадчук В.С., Островський Б.І.** Роль цифрових 344  
екосистем в розрізі індустрії 4.0 в освітньому процесі  
*Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*
- Мощенко І.О.** DFD-модель оптимізації потоку створення цінності в закладах вищої 347  
освіти  
*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*
- Краковецький О.Ю., Шевченко Н.Ю.** Аналіз політик щодо використання 349  
технологій генеративного штучного інтелекту в освітньому процесі  
*ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя*

- Попик О.В.** Теоретичні засади імплементації систем управління якістю в діяльність еко-індустральних парків 351  
ДУ «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАНУ», м. Одеса
- Кабаків Ю.Б.<sup>1</sup>, Онофрейчук Н.В.<sup>2</sup>** Якісна система менеджменту – основа успішної організації 352  
<sup>1</sup>Орган сертифікації персоналу Української асоціації якості, м. Київ,  
<sup>2</sup>ВСП «Одеський фаховий коледж комп'ютерних технологій» ОДЕКУ, м. Одеса
- Савенко В.І., Ключєва В.В., Нестеренко І.С., Владимиров О. В.** Важливі фактори для розвитку будівельної організації 354  
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
- Молчанов В.Ф.** Основні умови реалізації освіти 355  
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
- Макренко Р.О., Руденко Д.В.** Оцінка функціональної ефективності процесів соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці 356  
Сумський державний університет, м. Суми
- Кравченко А.О., Денисова Н. М.** Міжнародний досвід у сфері цивільного захисту: найкращі практики та виклики для України 358  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Якименко С.М.<sup>1</sup>, Ільїна О.В.<sup>1</sup>, Чередніков О.М.<sup>1</sup>, Юрченко М.Е.<sup>2</sup>** Порівняльний аналіз якості фахової підготовки льотних кадрів військової та цивільної авіації 360  
<sup>1</sup>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси  
<sup>2</sup>Клайпедський університет, м.Клайпеда, Литва
- Воронцов Б.С., Лашина Ю.В.** Міжнародний проект «Additive manufacturing for research and education» 363  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Торпаков А.С.<sup>1,2</sup>, Макруха Т.О.<sup>2</sup>, Ковбаса З.Р.<sup>2</sup>** Використання відкритих онлайн платформ у вивченні робототехніки та комп'ютерної схематехніки у вищій школі 364  
<sup>1</sup>Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв  
<sup>2</sup>Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, м. Кропивницький

## СЕКЦІЯ 5. ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

UDC 621.791

**Ihor Boyko, PhD in Technical Sciences, associate professor**  
**Volodimir Pashinskiy, Doctor of technical sciences, professor**  
**Olena Pashinska, Doctor of technical sciences, professor**  
 LLC “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”, Zaporizhzhia,  
 Igor.Boyko@mipolytech.education

### IMPROVING THE QUALITY OF SURFACING BY USING ELECTRODES WITH CARBON RODS

Carrying out restoration surfacing work at enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine remains not only an urgent task, but also, in many cases, the only way to maintain equipment in working condition.

According to data [1], the share of deposited metal 48.9% in Ukraine comes from MAW, which is much higher than the European average.

One of the standards in force in Ukraine regulating the chemical composition, properties and operating conditions of the deposited metal is DSTU EN14700:2022 “Welding materials. Welding materials for surfacing.” This standard does not regulate the chemical composition of electrode rods for surfacing. [2]

Based on the equilibrium condition of the droplet at zero pinch effect force (this factor is minimal under the condition of transfer without short-circuiting the arc gap), control of the droplet during MAW is solved only by the surface tension force and the gas-dynamic force caused by the dissociation of the gas-forming components of the electrode coating. Oxygen, carbon and manganese play a decisive role in influencing the droplet size.

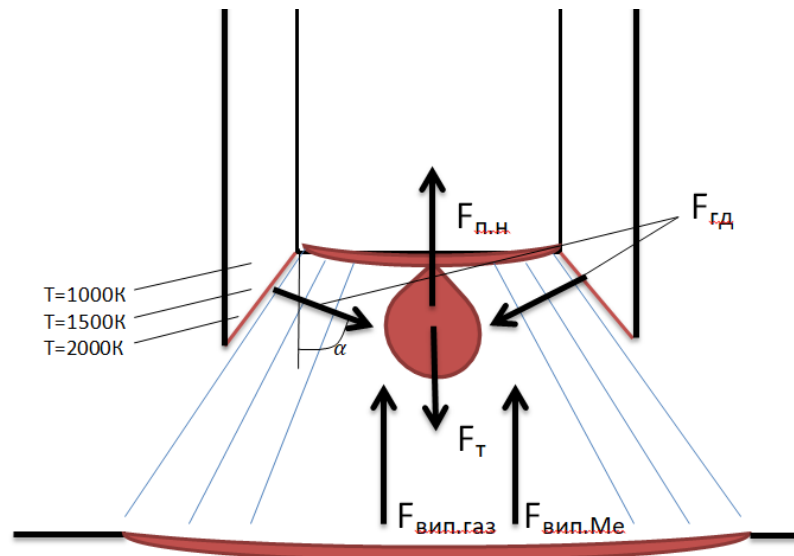


Fig. 1 – Balance of forces acting on a drop during MMA welding

The stability of the electrode melting during welding and surfacing significantly affects the quality of the deposited metal. The influence of the rod material on the stability of melting was assessed according to the method [3]

The current and voltage oscillogram shows that the use of 65G steel rods for the manufacture of coated electrodes for surfacing can significantly reduce the droplet size and ensure fine-droplet and mist-like transfer with the rutile type of coating.

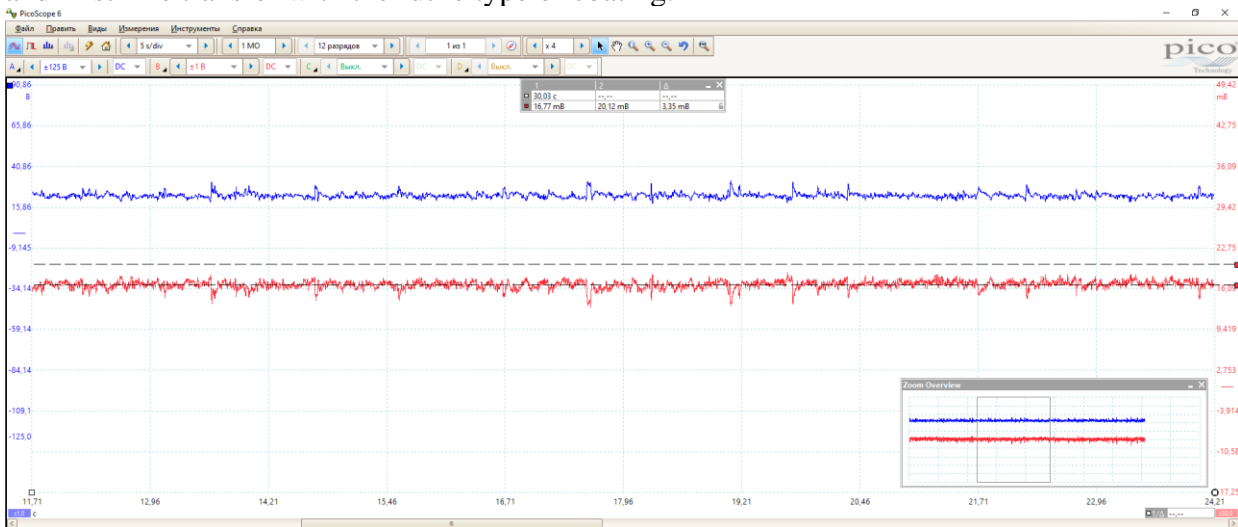


Fig. 2 – Oscillograms of current and voltage during surfacing with an Fe-2 type electrode with a diameter of 4 mm ( $U=23$  V,  $I=110$  A)

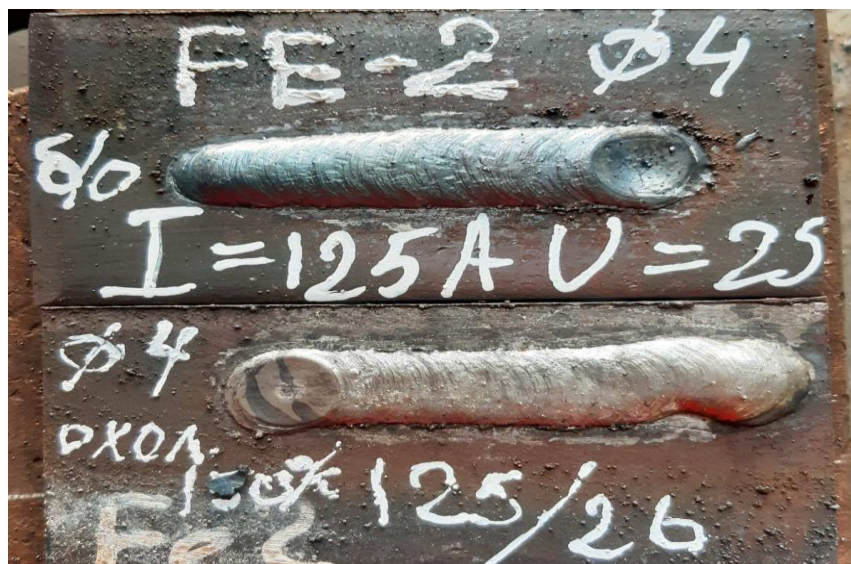


Fig. 3 – Appearance of surfacing when using Fe-2 electrodes with a carbon rod (with natural and forced cooling)

Thus, the use of carbon rod electrodes can improve the quality of the deposited metal by improving the stability of the electrode metal transfer.

### References

1. A. A. Mazur, O. K. Makovetskaya, S. V. Pustovojt and V. S. Petruk. Economic and statistical review of the world and regional markets of welding materials. – The Paton Welding Journal, 2019, #9, 34-39 pages <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.09.06>
2. Standard DSTU EN14700 “Welding materials. Welding materials for surfacing” with authority dated 2024-02-08
3. Method for Evaluating the Stability of Arc Burning of Electrodes with Rutile-Cellulosic Covering / O. Kostin, O. Yaros, Yu. Yaros, A. Savenko, V. Martynenko, I. Boyko // 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES): 20-23 October 2022. – Kremenchuk, Ukraine



УДК 669.15-194:622

**Liutova O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor**  
**Pavliuk Ye., Student Group of EP-313**  
National University Zaporizhzhia Polytechnic, [lyutova2014@gmail.com](mailto:lyutova2014@gmail.com)

## **INCREASING OPERATIONAL STABILITY OF FAST-WEARING CAST PARTS OF METALLURGICAL EQUIPMENT**

The global trend towards conscious consumption poses serious challenges to metallurgists and machine builders, related to increasing the reliability and durability of machine parts and technological equipment. Premature failure of individual parts and components caused by breakdowns or wear limits the duration of normal equipment operation, leads to an increase in the production of spare parts, an increase in transport costs, sharply reduces production efficiency.

When processing ore in the mining industry, ball grinding mills (BGM) are widely used, which perform the main work in the technological process of grinding ores. The cast parts of the mills work in severe conditions of water-abrasive wear, which is combined with shock loads. Usually, the service life of any equipment or machine depends on the durability of only a few important parts that are subject to wear and tear during operation, and therefore, to ensure the reliable and economical operation of the equipment, the main attention should be paid to increasing the durability of these parts. It has been determined that the downtime of ball grinding mills due to the low stability of cast parts is 70...80 % of the total number of downtimes. One of the weakest nodes of these mills is the unloading grates and scoops of the snail feeder, the durability of which reaches 5.5...6 months and 1.0...1.5 months, respectively, while the service life of other parts of the mill is 9...12 months.

As a result of the analysis of the operating conditions of BGM grates and scoops, it was determined that the duration of operation and mechanical properties of these parts depend mainly on the material from which they are made. Steels that have a high level of plasticity and toughness (35ГФЛ (0.35 % C, 1 % Mn, 1 % V), 35XHЛ (0.35 % C, 1 % Cr, 1 % Ni), 35XHМЛ (0.35 % C, 1 % Cr, 1 % Ni, 1 % Mo), etc.) had insufficient wear resistance due to low strength and hardness indicators. Materials with a high level of hardness and strength (60X2СМЛ (0.6 % C, 2 % Cr, 1 % Si, 1 % Mo)), had low impact toughness, which was the cause of emergency stoppages of mills due to broken parts. The analysis of the mechanical properties of scoops and grates determined the required level of properties of these parts:  $\sigma_B \geq 850$  MPa;  $HB \geq 2600$  MPa;  $\delta \geq 8$  %;  $\psi \geq 20$  % and  $KCU \geq 0,20$  MJ/m<sup>2</sup>.

The influence of the change in silicon concentration on the mechanical properties and wear resistance of steel containing 1.5 % chromium and 0.40 % manganese with different carbon content was studied. Strength and hardness indicators increase with increasing silicon content. The influence of silicon on the plastic properties of steel, impact toughness and wear resistance is non-linear, with 0.9 % manganese there is a monotonous decrease not only in plastic properties and impact toughness, but also in wear resistance. This is explained by the fact that in steel with an increase in the manganese content, the liquation heterogeneity and stability of undercooled austenite increases, which leads to the formation of a martensite-like structure after normalization. Mathematical planning of the experiment made it possible to obtain models that adequately describe the influence of the composition of steel on the level of its mechanical and operational properties. On the basis of the processing of the obtained data using the «STATISTICA» software complex, a wear-resistant economically alloyed steel of the following composition is proposed: 0.45...0.50 % carbon; 1.7...2.0 % chromium; 0.5...0.7 % manganese; 1.2...1.5% silicon. The use of such a composition of steel made it possible to increase their service life by 1.5 times due to the improvement of operational properties, and, as a result, to reduce the inter-repair cycle of ball grinding mills, which contributed to increasing the economic efficiency of production.

UDK 620.19:620.17

**Tsyurulnyk O. T., Doctor Sciences, Senior Researcher**

**Demianchuk D. O., PhD Student**

**Bartoshevskiy D. P.**

**Shtoiko I. P., PhD**

**Kurnat I. M.,**

**Zvirko O. I., Doctor Sciences, Professor, Corr. Member of the NASU**

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv,

olha.zvirko@gmail.com

## **STRAIN AGING OF PIPELINE STEELS UNDER OPERATION: ROLE OF HYDROGEN**

Strain aging of structural steels results generally in their embrittlement [1, 2]. The main reason of strain ageing is the diffusion of carbon and nitrogen atoms to dislocations generated by plastic deformation and their fixation (the formation of Cottrell clouds). The standard DSTU 9166:2021 regulates the procedure of strain aging of steels in laboratory. It involves two main stages: i) the plastic deformation of the metal, which activates sources of dislocation generation, and ii) moderate and relatively short-term heating of the deformed metal to facilitate the diffusion of interstitial carbon and nitrogen atoms to dislocations to form atmospheres around them.

In the work, an assumption of the possibility of occurrence of strain ageing of steels at the microscale due to internal stresses induced by hydrogen under long-term operation was made. It is well-known that hydrogen charging of steels leads to internal stresses [3–5]. It was suggested that the internal stresses induced by hydrogen charging could reach such a high level as to cause microplastic deformation at certain local sites in the steel microstructure, accompanied by the generation of dislocations. These localized areas within the metal serve as traps for hydrogen and contribute to the accumulation of high pressure molecular hydrogen in them. Therefore, the hydrogenation of steels can serve as a source of dislocation generation even without the previous plastic deformation at the macroscale.

The assumption was confirmed experimentally using the low-alloy pipeline steel 17H1S. The steel was subjected to different treatment with and without preliminary electrolytical hydrogen charging and low-temperature tempering at 250 °C during 1 hour. The basic mechanical properties of the steel, impact strength, fracture toughness, and resistance to stress corrosion cracking in the NS4 test solution were assessed. It was revealed that the low-temperature tempering did not affect the mechanical behaviour of the steel. However, the steel subjected to the procedure of combining preliminary hydrogen charging with subsequent low-temperature tempering was characterized by a significant decrease in fracture toughness and resistance to stress corrosion cracking. Hydrogen had an impact on the embrittlement of the steel through the strain aging at local sites being preferable for hydrogen diffusion.

### **References**

1. A procedure of laboratory degradation of structural steels / O. T. Tsyurul'nyk, N. V. Kret, V. A. Voloshyn, O. I. Zvirko // *Materials Science*. – 2018. – 53 (5). – P. 674–683.
2. Mechanical behaviors and constitutive model of structural steel influenced by strain aging / Y. Yang, B. Zhang, Y. Wang, et al. // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2022. – 192. – 107211.
3. Crack and blister initiation and growth in purified iron due to hydrogen loading / M. C. Tiegel, M. L. Martin, A. K. Lehmberg, et al. // *Acta Materialia*. – 2016. – 115. – P. 24–34.
4. Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination / H. M. Nykyforchyn, O. I. Zvirko, O. T. Tsyurulnyk, N. V. Kret // *Engineering Failure Analysis*. – 2017, Vol. 82. – P. 364–377.
5. On a mechanism for enhanced hydrogen flux along grain boundaries in metals / G. S. Mogilny, V. N. Shyvaniuk, S. M. Teus, et al. // *Acta Materialia*. – 2020. – 194. – P. 516–521.

UDC 621.791

**Anatoliy Zavdoveev, Cand. of technical Sciences**

E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv

**Nataliia Strelenko, Cand. of technical Sciences, associate Professor**

**Ji Junwen, postgraduate**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,

jjunwen343j@gmail.com

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF COLD METAL TRANSFER (CMT) MODES IN ADDITIVE MANUFACTURING OF INCONEL 625 ALLOY**

Inconel 625, a nickel-chromium-molybdenum alloy, is renowned for its exceptional heat and corrosion resistance, high strength, and high melting point. These attributes make it a preferred material for critical components in the aerospace, maritime, and nuclear industries. However, traditional manufacturing methods often lead to increased costs due to the complexity of the designs. Cold Metal Transfer (CMT) technology offers a cost-effective alternative by preserving the alloy's performance while reducing expenses.

This study investigates various CMT modes to optimize the additive manufacturing process for Inconel 625. The goal is to enhance the alloy's mechanical strength and ensure uniformity across the produced components. Through detailed analysis and experimentation, the research aims to identify the best CMT settings that maximize the alloy's performance, providing a viable solution for producing high-quality, cost-efficient components for demanding applications.

The research employs Cold Metal Transfer (CMT) technology to investigate the effects of various parameters, including welding speed, current, voltage, and types of shielding gases. Specifically, the study compares the use of pure argon against a mixture of argon with 2.5% carbon dioxide. A consistent interlayer temperature of 100°C was maintained across all samples to ensure comparability of results.

The findings reveal that samples welded with pure argon demonstrated superior mechanical properties and more uniform microstructures compared to those welded with the argon-CO<sub>2</sub> mixture. Pure argon shielding resulted in a narrower heat-affected zone (HAZ), which is crucial for maintaining the integrity of the alloy. This is attributed to argon's inert nature, which provides a stable and consistent shielding environment that minimizes oxidation and contamination. The study also found that maintaining lower deposition temperatures effectively reduced the HAZ, thereby enhancing the overall performance of the material.

Optimal welding speeds and currents were identified to achieve the best mechanical properties and structural uniformity. Lower deposition temperatures were particularly beneficial in limiting thermal cycling and reducing defects such as cracking and porosity. Microstructural analysis indicated that pure argon shielding produced finer grains and fewer defects, leading to enhanced mechanical properties. In contrast, the argon-CO<sub>2</sub> mixture increased porosity and resulted in a coarser grain structure due to the reactive nature of CO<sub>2</sub>, which caused oxidation and other degrading chemical reactions in the weld metal.

Mechanical testing, including measurements of tensile strength, yield strength, and hardness, showed that samples welded with pure argon exhibited higher tensile and yield strengths and more uniform hardness distribution. This superior performance is attributed to the reduced incorporation of impurities and more controlled thermal input during the welding process. The study underscores the importance of shielding gas selection in the CMT process, highlighting pure argon as the preferred choice for achieving optimal results in terms of mechanical properties and microstructural integrity.

Employing CMT for manufacturing Inconel 625 is both efficient and economically practical when the correct conditions are met. The success of this technique hinges on selecting the appropriate welding parameters and shielding gas. Moving forward, refining these parameters will

be crucial for tailoring performance to meet specific demands across various industries. This advancement will enable the broader use of high-performance materials in a wider range of applications, extending the benefits of Inconel 625 to more sectors.

### References

1. Shankar V, Rao KBS, Mannan SL (2001) Microstructure and mechanical properties of Inconel 625 superalloy. *Journal of Nuclear Materials*, 288(2-3): 222-232. DOI: 10.1016/S0022-3115(00)00723-6.
2. Li D, Guo Q, Guo S, Peng H, Wu Z (2011) The microstructure evolution and nucleation mechanisms of dynamic recrystallization in hot-deformed Inconel 625 superalloy. *Materials & Design*, 32(2): 696-705. DOI: 10.1016/j.matdes.2010.07.040.
3. Sandhu SS, Shahi AS (2016) Metallurgical, wear and fatigue performance of Inconel 625 weld claddings. *Journal of Materials Processing Technology*, 233: 1-8. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2016.02.010.
4. Lou X, Gandy D (2019) Advanced manufacturing for nuclear energy. *JOM*, 71(8): 2834-2836. DOI: 10.1007/s11837-019-03607-4.
5. Qiu Z, Wu B, Zhu H et al. (2020) Microstructure and mechanical properties of wire arc additively manufactured Hastelloy C276 alloy. *Materials & Design*, 195: Article 109007. DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109007.

UDK 621.793.6

**Sereda B.P., Doctor of technical sciences, Professor**  
**Udod A.M., postgraduate student**  
Dnipro State Technical University, Kamianske, seredabp@ukr.net

### FORMATION OF CHROME COATINGS ON PRESS EQUIPMENT UNDER CONDITIONS OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

One promising area for increasing the wear resistance of press tooling for rubber products is the production of chrome coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis. Organization of the SHS consists in creating a powder mixture and an environment that provide exothermic interaction at the local initiation of the process (ignition). This is followed by spontaneous propagation of the reaction wave (combustion) and cooling of the synthesized product [1].

According to the type of chemical reaction, three classes of SHS processes can be distinguished:

1. direct synthesis from elements;
2. direct synthesis from compounds and exchange reactions;
3. metallothermal SHS (reactions with a reducing stage).

Products of SHS processes can be a variety of chemical compounds (carbides, borides, silicides, nitrides, intermetallics, chalcogenides, etc.).

Depending on the aggregate state of the reagents and reaction products, SHS processes are divided into gas-free, low-gas, filtration and metallothermal.

Due to the possibility of adjusting the structure and phase composition, chromium coatings alloyed with aluminum, titanium, and silicon were obtained ( $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$ ,  $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , and phases:  $\text{Fe}_2\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}_2\text{Ti}$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ , and solid solutions  $\text{FeAl}$ ,  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\text{TiAl}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{Ti}$ ,  $\text{TiAl}$ ). Such a phase composition is explained by the fact that aluminum at the temperature of SHS processing can be in a liquid state and diffuses into the substrate more actively than titanium[2]. In addition, it should be noted that during the treatment process, aluminum can be partially in a liquid state, so titanium diffusion in this case will pass through the liquid phase, thus intensifying the coating formation process. Metallographic coatings are defined as a light zone with a clear interface with the substrate. Most of the coating is occupied by a zone with a heterogeneous structure. In U8 steel, the carbide zone is located directly on the outside of the coating ( $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$ ,  $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ). The surface microhardness of titanium alloyed coatings is: on steel 20 –  $H_{100} = 15000$  MPa, (phases:  $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ ,  $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ , titanium alloy,  $\text{Fe}_2\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}_2\text{Ti}$ ,  $\alpha$ -solid solution Ti and Cr in  $\alpha$ -Fe), on steel 45 –  $H_{100} = 17000$  MPa (phases:  $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ , Titanium-doped,  $\alpha$ -solid solution of chromium in

iron with inclusions ( $\text{Cr}_2\text{Ti}$ ), on steel U8 –  $H_{100} = 18000$  MPa (phases: directly on the outside of the coating is a zone of carbides  $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$ ,  $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{Ti}$ ,  $(\text{Ti,Cr})\text{C}$ ).

### References

1. Поверхнєве зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин: монографія. Б.П. Серєда, Л.П. Банніков, С.В. Нестеренко, І.В. Кругляк, О.С. Гайдаєнко, Д.Б. Серєда – Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2019. – 170с.
2. Sereda B. High-performance chrome coatings to protect against wear and corrosion Steel Properties and Applications in Conjunction with Materials Science and Technology 2021, P. 39–41.

UDK 621.793.6

**Sereda D.B., associate professor**

Dnipro State Technical University, Kamianske, etohardcore@gmail.com

## USING FUNCTIONALLY ACTIVE CHARGES FOR OBTAINING PROTECTIVE COATINGS ON CARBON COMPOSITE MATERIALS

The practical application of carbon-carbon composite materials (CCCM) in high-temperature processes is severely limited by their tendency to oxidation, erosion and burnout in gas streams. To overcome these challenges, it is crucial to develop effective protective coatings for CCCMs to improve their performance and increase their service life. Refractory compounds such as carbides, borides, nitrides and silicides and their alloys have proven to be promising materials for protective coatings.

In addition to oxidation resistance, protective coatings made of refractory compounds have high hardness and exceptional wear resistance. These characteristics make them effective in protecting CCCM from high temperatures and aggressive environments.

Research is focused on determining the optimal parameters and methods for obtaining protective coatings for CCCM to increase their heat resistance and service life in high-temperature conditions. The main objectives of the study are the development of functionally active charges (FAC) for the creation of alloyed chrome protective coatings that provide optimal resistance to oxidation, erosion, and the effects of gas flows. Various coating methods, such as chemical-thermal treatment and liquid-phase saturation, were analyzed to determine their effectiveness and impact on the mechanical properties of the material.

The selected independent variables for the experiment were the chromium, silicon, titanium and aluminum content of the FAC mixture. CCCM was chosen as the starting material and  $\text{J}_2$  and  $\text{NH}_4\text{F}$  were used as process activators for all systems. It was observed that the introduction of more than 5% of gas transport agent into the mixture resulted in significant distortion of the sample surface, while less than 1% did not activate all gas transport reactions.

The main element of all heat-resistant coatings is aluminum, which is used to form a protective  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  oxide membranes. In diffusion coatings, the aluminum content is usually at the level of 15... 25%. This aluminum content ensures the formation of an  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  oxide membranes during oxidation. The second most important component of the coatings is chromium, which ensures the formation of the  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  membranes. The chromium content in high-temperature coatings is usually 7...20%. Compared to coatings produced under isothermal conditions, the heat resistance of alloyed produced using FAC higher, which can also be explained by the higher concentration of chromium, aluminum, silicon, and titanium, which contribute to the formation of protective oxide membranes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Silicon is of great importance, as it is introduced to increase heat resistance to high-temperature oxidation and salt corrosion. Since heat resistance does not depend on the structure, but is determined by the chemical composition, for a higher content of alloying elements such as silicon, titanium, chromium, and aluminum, which increases heat resistance

### References

1. Отримання захисних покриттів з використанням комплексних функціонально активних шихт та електроосадженням: монографія / Б.П. Середа, О.С. Баскевич, І.В. Кругляк, Д.Б. Середа, Д.О. Кругляк. – Кам'янське: ДДТУ, 2024. – 191 с.
2. Sereda, B., Sereda, D., Sereda, I. Surface coatings improve the characteristics of materials obtained under SHS conditions. MS and T 2019 - Materials Science and Technology 2019, pp. 403–408.

UDK 621.793

**Kruhliak I., Doctor of technical sciences, Professor**  
**Krivko R., PhD student**  
**Chuhno S., PhD student**

Dnipro State Technical University, Kamianske, irina6878@ukr.net

### STRENGTHENING SCREWS PRESSING DEVICE OF MILL STAND 650

Primary challenge addressed in this research revolves around enhancing the durability and longevity of the tensioning mechanisms employed in the 650 rolling mill. The core issue stems from conventional materials failing to meet the necessary wear resistance standards when subjected to substantial loads and intense friction scenarios. Consequently, there is a pressing need to explore novel methodologies aimed at bolstering the mechanical attributes and prolonging the operational lifespan of these tensioning devices. The central approach to tackling this issue involves examining the application of chrome plating produced through a cutting-edge high-temperature synthesis (SHS) method known for its self-propagating properties. This investigation aims to evaluate how such plating techniques influence the overall performance of the tensioners. However, successful implementation of this approach requires a more detailed analysis of the thermodynamic processes in the SHS reactor, as well as an evaluation of the structural and mechanical properties of the resulting coating to determine the optimal application parameters [1].

One of the advantages of using SHS technology is the efficient use of energy and reduced costs for strengthening parts. It is also worth noting that this technology makes it possible to produce materials with high technical characteristics that meet modern industrial requirements. From this point of view, the use of SHS technology has great potential in the production of industrial parts and machinery, where reliability, service life and efficiency are important factors.

Cold rolling mill 650, stand consists of two massive closed-type stands, usually cast from 35L steel, a set of rolls, a pressure and balance device, and a leash table. The top and bottom stands are connected to each other by bolts and crossbeams. The support and working rolls with cushions are installed between the beds. Side bars are attached to the outer parts of the bed posts to guide the cushions in the beds and to adjust the rolls in the axial direction [2].

Hardening of machine parts and mechanisms in industrial engineering for metallurgical production is one of the key strategies to ensure the reliability and uptime of rolling mills. To achieve these goals, it is important to strengthen the surface layer of parts, in particular, the screws of the pressure device of the 650 cold rolling mills. The wear resistance of these parts can be significantly improved by applying functional active layers, which can reduce hardening costs and energy consumption. The use of self-propagating high-temperature synthesis technology to form protective coatings is an effective approach. The SHS technology is based on exothermic reactions occurring in the combustion wave mode, which contributes to the formation of products with high physical and chemical characteristics. Tests on the MT-5 friction machine (friction under shock-dynamic loading) show that the best wear resistance is provided by alloyed coatings alloyed with Si and Ti with a wear value of  $\Delta I = (33 - 55) \cdot 10^{-4} \text{ g/m}^2$ .

### References

1. Савуляк В.І. Наплавлення високовуглецевих зносостійких покриттів: монографія / Савуляк В. І., Шенфельд В.Й. – Вінниця: ВНТУ. – 2016. – 124 с.

2. Серета Б. П. Прокатне виробництво [Текст]: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Б. П. Серета; Запорізька держ. інженерна академія. – Запоріжжя: Вид-во Запорізької держ. Інженерної академії, 2008. – 310 с.

UDK 621.793

**Sereda B., Doctor of technical sciences, Professor**  
**Bilozor I., postgraduate student**  
**Prolomov A., postgraduate student**  
**Skrebkov K., postgraduate student**

Dnipro State Technical University, Kamianske, seredabp@ukr.net

## **THERMODYNAMIC ANALYSIS OF CHROMIUM COATINGS OBTAINED UNDER SHS CONDITIONS**

To develop specific methods for obtaining protective coatings on structural materials under high-temperature synthesis conditions, it is necessary to clarify the thermodynamic features of the process. Among the various factors that affect the mechanism of coating formation under SHS conditions are the initial conditions preceding the process of diffusion of elements into the material, which directly or indirectly depend on the physicochemical factors of saturation (thermodynamic characteristics of phases in the system of interacting elements; thermodynamic characteristics of the saturated medium). For the thermodynamic analysis of the SHS process of forming alloyed protective coatings, we used the universal program for calculating multicomponent heterogeneous systems TERRA, created on the basis of the ASTRA-4 program for the WINDOWS environment and developed for high-temperature processes. In contrast to the traditional methods of calculating equilibrium parameters in chemical thermodynamics using the Gibbs energy, equilibrium constants, and the Goldberg and Waget law of masses, the universal thermodynamic calculation program TERRA is based on the principle of maximum entropy for isolated thermodynamic systems in equilibrium. It is characterized by the maximum entropy with respect to thermodynamic degrees of freedom, which include the concentrations of system components, temperature, pressure [1].

The main condition for the spontaneous occurrence of this reaction is the higher thermodynamic strength of aluminum oxides compared to oxides of renewable metals. The strength of oxides of various metals is characterized by the value of the isobaric potential  $\Delta Z^0$  when these metals interact with oxygen. The greater the difference in the isobaric potentials of aluminum oxide formation and the element (metal) being reduced, the more complete and energetic the reduction reactions are. At temperatures above 700 K, the proportion of the condensed phase practically does not change. This fact suggests that in the temperature range of 700-1500 K, reactions occur with the release of the condensed phase, but without changing the number of moles, which is typical for decomposition reactions, exchange with the material, i.e., in fact, chemical transport of elements occurs. The content of gaseous aluminum compounds in the reactor, the mode of thermal self-ignition of the SHS charge for the system AlCr in temperature range 400–1500 K is: AlH, AlH<sub>2</sub>, AlF, AlF<sub>2</sub>, AlF<sub>3</sub>, AlHF, AlH<sub>2</sub>F, AlI, AlI<sub>2</sub>, AlI<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>I<sub>6</sub> etc. Content of gaseous chromium compounds: Cr, Cr<sub>2</sub>, CrO, CrH, CrOH, CrF, CrF<sub>2</sub>, CrF<sub>3</sub>, CrI, CrI<sub>2</sub>, CrI<sub>3</sub> etc., as well as the content of condensed products: Al(c), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(c), AlF<sub>3</sub>(c), AlI<sub>3</sub>(c), AlN(c), Cr(c) etc.

### **References**

1. Поверхнєве зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин: монографія. Б.П. Серета, Л.П. Банніков, С.В. Нестеренко, І.В. Кругляк, О.С. Гайдаєнко, Д.Б. Серета – Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2019. – 170с.

UDC 621.793

**Sereda B., Doctor of technical sciences, professor**

**Komendarov K., postgraduate student**

**Kiforuk D., postgraduate student**

**Babko I., postgraduate student**

Dnipro State Technical University, Kamianske, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

## **THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE GASEOUS PHASE DURING SILICONIZATION UNDER SHS CONDITIONS**

This work investigates the mechanism of formation of a protective coating on structural materials using the method of thermodynamic analysis of possible chemical reactions between the components of the system. For this purpose, the interaction between the gas saturating medium formed in the process of SHS and the material was calculated [1]. The literature analysis of publications on the study of the properties of alloyed chromium-alloyed coatings substantiates the need to alloy chromium-alloyed coatings to obtain structural materials with increased physical, mechanical, and operational properties [2]. The thermodynamic analysis of possible reactions for the temperature range of 400-1600 K shows that the decomposition products of the activators ( $I_2$ ,  $NH_4Cl$  і  $NH_4F$ ) react with the oxide film on aluminum (before the reduction reaction begins) to form gaseous compounds. With increasing temperature, the number of products in the gaseous phase increases, and condensed products are released.

It is impossible to determine the specific quantitative composition of the proposed systems within the framework of thermodynamic calculations, so it is necessary to experimentally select a composition that ensures a rational mode of the process. According to the calculations, chromium and titanium are predominantly in the form of  $CrH_2$ ,  $CrH_3$ ,  $CrH_4$ ,  $TiH_2$ ,  $TiH_3$ ,  $TiH_4$  halides. Chromium and its halides can interact with titanium halides at low temperatures ( $\sim 1000$  °K), while at higher temperatures, interactions are thermally impossible. At the same time, starting from a temperature of 800 °K, the reaction products decompose, which is confirmed by the appearance of decomposition products and a sharp increase in the number of gas moles.

The main products in the gas phase in the temperature range of 1200-1800 K are iodides, fluorides, chlorides of chromium, aluminum, boron, titanium, and silicon. In the temperature range of 400-1600 K, the proportion of the condensed phase decreases due to the evaporation of the used gas transportation medium. Gaseous products, interacting with the elements of the powdery charge, convert them to the gas phase. This fact gives reason to assume that in the temperature range of 600-1600 K, reactions occur with the release of the condensed phase, but without changing the number of gas molecules, which is characteristic of decomposition, disproportionation, dissociation, or exchange reactions with the surface of the material being treated, i.e., in fact, chemical transport reactions occur.

### **References**

1. Поверхнєве змцнення матерiалiв працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин: монографiя. Б.П. Серєда, Л.П. Баннiков, С.В. Нєстерєнко, I.В. Кругляк, О.С. Гайдасєнко, Д.Б. Серєда – Кам'янське: Днiпровський державний технiчний унiверситет, 2019. – 170с.

2. Sereda B. High-performance chrome coatings to protect against wear and corrosion Steel Properties and Applications in Conjunction with Materials Science and Technology 2021, P. 39–41.



UDC 621.762.4

**Honcharuk O.O.**, candidate of technical sciences, associate professor  
**Golovko L.F.**, doctor of technical sciences, professor  
**Kaglyak O.D.**, candidate of technical sciences, associate professor  
**Milinchuk O.S.**, student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,  
[goncharuk.alex@gmail.com](mailto:goncharuk.alex@gmail.com)

## **OPTIMIZATION OF THE RELIEF OF THE WORKING SURFACE OF THE TOOL FOR APPLYING THE ABRASIVE LAYER**

In modern industry, the need to manufacture abrasive tools of various classes and purposes for hard-to-machine steels, ceramics, and other materials is constantly growing. Laser sintering technology is becoming a promising direction for forming an abrasive layer containing superhard materials on the tool surface [1]. The solution to this problem involves analyzing the effect of laser radiation on individual particles of abrasive material in order to expand the possibilities of using a laser as a tool and expand the range of metal bonds used during sintering [2].

According to the classical method, the abrasive is applied by feeding the powder from a nozzle and exposing it to a laser beam. This method has several disadvantages, such as the abrasive may not combine with the binder material due to a rather large spray; the nozzle for feeding the abrasive may clog during operation due to the fact that the interaction of the laser beam with the abrasive takes place at a short distance from the nozzle, so droplets of molten metal can fall on the nozzle and clog it; a large part of the abrasive and binder is lost during transportation to the melting zone, which leads to cost overruns, deterioration of the quality of the resulting abrasive layer and leads to failure of equipment components due to contact with them; the need to develop methods and equipment for collecting and cleaning the abrasive mixture that did not get into the melting zone.



Fig. 1 – Diamond drill bit for angle grinders Dnipro-M ULTRA 72 mm [3]

The aim of the study was to develop a technology for using abrasive-containing foil to synthesize an abrasive tool layer on a cylindrical surface, such as a cylindrical drilling tool (Fig. 1). The laser processing method is realized by supplying a mechanical mixture of abrasive grains and a binder in the form of a hollow body, for example, formed between two layers of foil, which can be made of copper alloys. Under the influence of laser radiation, the foil with the abrasive mixture melts to form a continuous abrasive layer. The proposed method of feeding the mechanical mixture of abrasive grains and binder provides a more uniform distribution of the abrasive, no

overconsumption of the mixture, which leads to high-quality formation of the abrasive layer. In addition, this method of feeding the mixture allows you to control the placement of abrasive grains in the matrix of the binder; ensures the formation of a metallurgical bond between the resulting layer and the tool body; improves the retention of the abrasive by the binder due to tight coverage (wettability of grains); and increases the efficiency of the process.

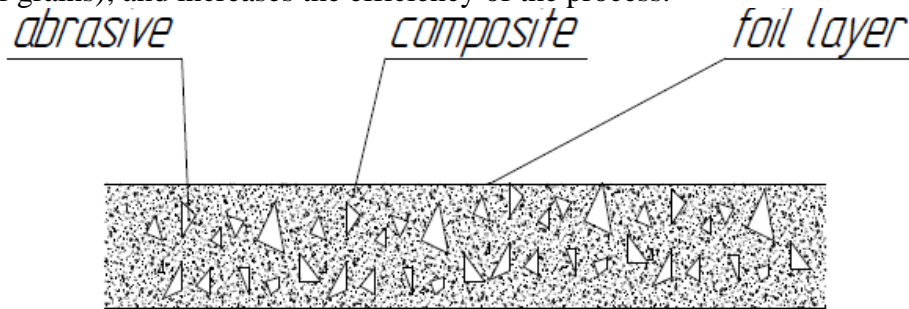


Fig. 2 – Schematic representation of abrasive foil.

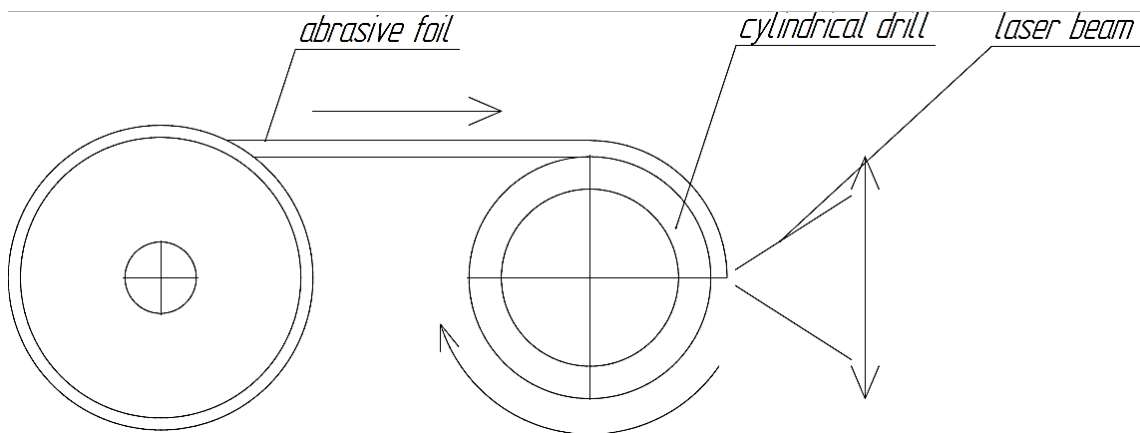


Fig. 3 – Schematic representation of the technology for applying abrasive foil to a cylindrical drill bit

In this study, it is proposed to use the technology of applying an abrasive tool layer to a cylindrical tool by using an abrasive-containing foil to feed the laser radiation into the zone of action, as this will increase the efficiency of abrasive use, improve adhesion, reduce material consumption, and allow the use of different abrasive materials that will no longer require special methods of transportation.

### References

1. Гончарук А.А. Лазерное термдеформационное спекание абразивных инструментов на основе кубического нитрида бора / А.А. Гончарук, Л.Ф. Головки, А.Д. Каглык // Mechanics and Advanced Technologies. #1(88), 2020. – С. 108-123. DOI: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.88.200770..>
2. Laser Sintering of Abrasive Layers with Inclusions of Cubic Boron Nitride Grains / Honcharuk, O., Zhuk, R., Kaglyak, O. et al. // Lasers Manuf. Mater. Process. (2018) 5: 298-316. <https://doi.org/10.1007/s40516-018-0068-0>
3. Свердло алмазне для КШМ Dnipro-M ULTRA 72 мм: веб-сайт. URL [https://dnipro-m.ua/tovar/sverlo-almaznoe-dlya-ushm-ultra-72-mm/?campaignid=19872984698&adgroupid=&targetid=&adid=&network=x&keyword=&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAIumNwb2zqCe0LANWch29zK2Q6YJIPEJZPtq490Fe5Sc16Zx9xutJdkaLAaAI2aEALw\\_wcB](https://dnipro-m.ua/tovar/sverlo-almaznoe-dlya-ushm-ultra-72-mm/?campaignid=19872984698&adgroupid=&targetid=&adid=&network=x&keyword=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAIumNwb2zqCe0LANWch29zK2Q6YJIPEJZPtq490Fe5Sc16Zx9xutJdkaLAaAI2aEALw_wcB): (дата звернення: 09.05.2024).

UDC 621.762.4

**Honcharuk O.O.,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
**Golovko L.F.,** Doctor of Technical Sciences, Professor  
**Kaglyak O.D.,** candidate of technical sciences, associate professor  
**Milinchuk O.S.,** student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,  
[goncharuk.alex@gmail.com](mailto:goncharuk.alex@gmail.com)

**THERMO-DEFORMATION SINTERING OF A DRUM-TYPE ABRASIVE TOOL FOR PROCESSING POLYMER COMPOSITE SHEET MATERIALS**

A promising direction for improving the efficiency of polymer composite materials (PCM) is the development of a high-performance abrasive tool and its manufacturing technology [1] using a wide range of abrasive materials and the composition of the tool layer [2]. The grinding of PCM, honeycomb fillers such as SSP, PSP, etc. is performed by single-layer diamond abrasive discs with a diameter of 60-80 mm and a height of 20-100 mm, as well as drums with a diameter of 165-200 mm and a height of 640 mm. The working surface of diamond wheels and drums with a discontinuous working surface is a set of diamond-abrasive working elements formed by intersecting helical grooves of the right and left directions, made at certain angles to the geometric axis of the tool of 40°. To ensure uniform distribution of the load on the working elements of the wheel during grinding, the difference between the helical grooves of the right and left directions varies from 1 to 10 [3].

In order to increase the productivity of manufacturing an abrasive tool, it is proposed to manufacture a tool drum for grinding sheet products as a prefabricated one, consisting of a hollow metal cylinder with a diamond-containing layer on its surface, which is placed along the forming with a certain step at an angle of 4-5° to the cylinder axis. The abrasive layer is made as separate replaceable elements of rectangular shape using laser thermal deformation sintering technology. rectangular inserts are located, which are fixed in a machined t-shaped protrusion (Fig. 1).

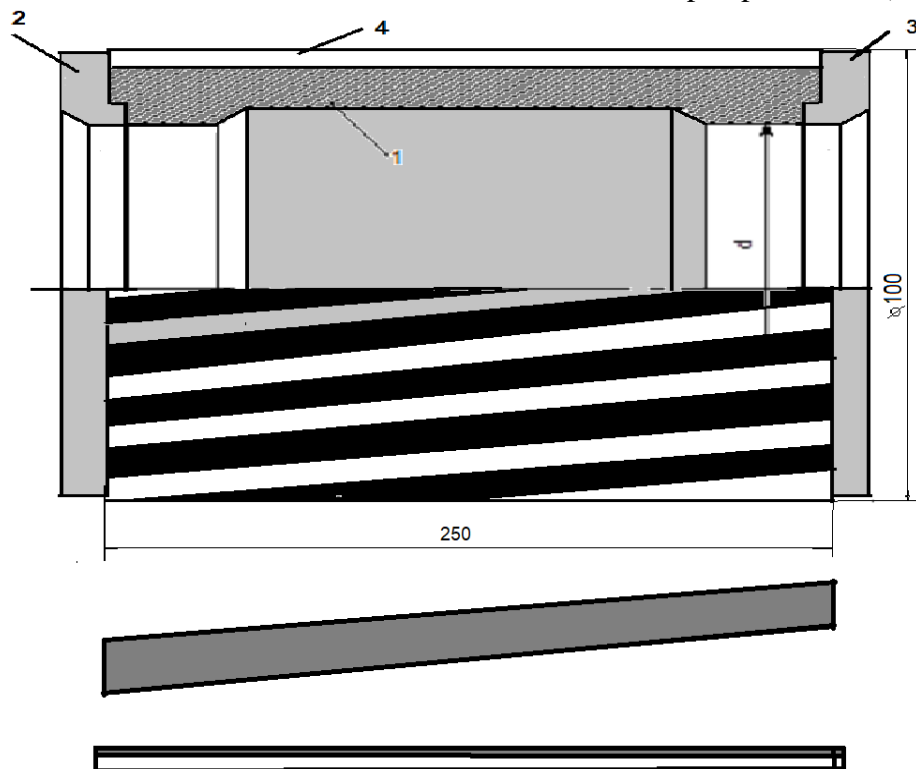


Fig. 1 – Tool drum for grinding sheet metal products

The abrasive elements are placed in the T-shaped grooves of the tool drum, which are made on the outer surface of the cylinder along its axis, along its entire length with a certain step at an angle of 4-5° Fig. 2 and are fixed with two flanges.

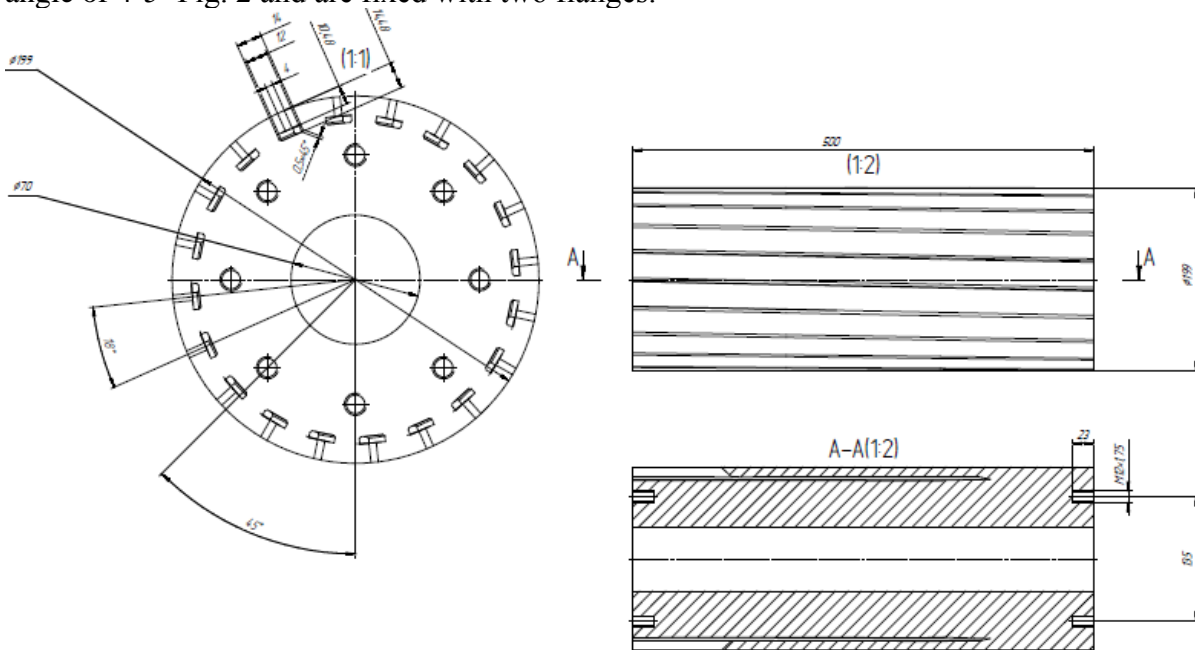


Fig. 2 – Positioning of abrasive elements

The use of laser thermal deformation sintering technology for the synthesis of tool layers of an abrasive tool for grinding and deburring the surfaces of parts and products made of PCM makes it possible to: optimize the consumption of abrasive superhard materials and the chemical composition of tool metal matrices; and, by using a prefabricated tool with abrasive inserts, ensure quick adaptation of the tool (shape, profile, performance) to market requirements; increase tool life compared to the basic technology based on the use of abrasive and carbide tools; improve the quality of the machined surface (minimize the effect of thermal destruction of the polymer component, eliminate sticking, delamination, hairiness and other defects on the machined surface of parts); mechanize and automate the technological processes of grinding and cleaning the surfaces of parts made of PCM.

### References

1. Laser Sintering of Abrasive Layers with Inclusions of Cubic Boron Nitride Grains / Honcharuk, O., Zhuk, R., Kaglyak, O. et al. // *Lasers Manuf. Mater. Process.* (2018) 5: 298-316. <https://doi.org/10.1007/s40516-018-0068-0>
2. Способи підвищення ефективності застосування НТМ при лазерному формуванні абразивного інструменту/ [О. О. Гончарук, Ототюк О.С. ] // *Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» : тези доповіді. – Том 2 – 2023. – С. 68-69.*
3. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю.В. Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 379 с.

UDC 621.762.4

**Honcharuk O.O.,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
**Golovko L.F.,** Doctor of Technical Sciences, Professor  
**Kaglyak O.D.,** candidate of technical sciences, associate professor  
**Milinchuk O.S.,** student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv  
[goncharuk.alex@gmail.com](mailto:goncharuk.alex@gmail.com)

### LASER SORTING OF ABRASIVE MATERIALS SHM

The modern direction of optimizing the production of abrasive tools is to improve the quality of SHM powders and the efficiency of their use in the tool layer. The main indicators that characterize the quality level of Cermet abrasive powders include grain composition, mechanical strength of grains, impurity content, grain surface development, and surface properties. The production of SHM powders with certain specified properties is ensured, first of all, by the synthesis conditions. However, the processes of dispersion, classification, and sorting of powders also play an important role. The study of the quality characteristics of SHM powders and the development of new efficient processes for their classification and sorting are among the most urgent tasks of toolmaking. The results of the research conducted in this area are the basis for the development of an improved technology for the manufacture of powders, improving their performance characteristics and efficiency of use in abrasive tools based on SHM.

As it was established earlier [1-4], SHM grains have a high absorption capacity of laser radiation of 80-90%, and the metal bonding - 40-60%.

The mechanism of laser radiation influence on the strength characteristics of SHM powders was studied on the example of CNB and is presented as follows. The data obtained by PEM Fig. 1 The range of modes safe for the physical and mechanical properties of CNB and the mechanism of grain destruction, which consists of the following stages: purification from synthesis products without adversely affecting the strength characteristics; the appearance of cracks on the grains formed as a result of the difference in the coefficients of thermal expansion of the CNB crystal and the nucleus metal (magnesium), which comes to the surface; irradiation at the specified mode leads to the initiation of the phase transformation  $cBN \rightarrow hBN$ , which is indirectly confirmed by their different colors.

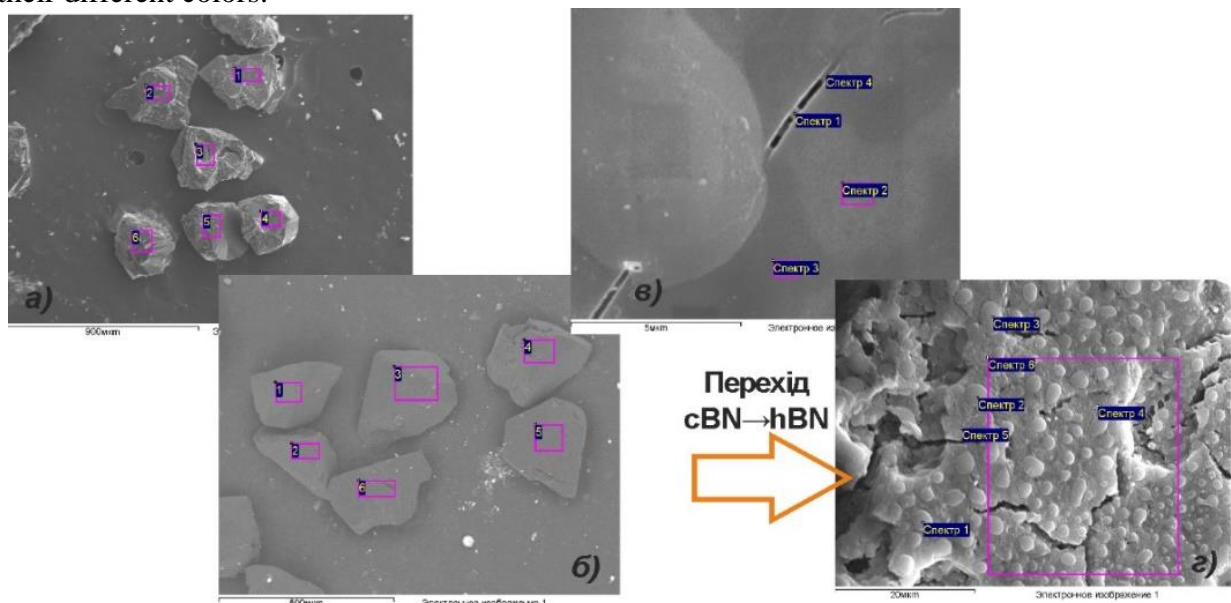


Fig. 1 – Analysis of the mechanism of laser radiation ( $\lambda = 1.06 \mu m$ ) effect on CNB grains of KV 250/200 grade

The abrasive elements are placed in the T-shaped grooves of the tool drum, which are made on the outer surface of the cylinder along its axis, along its entire length with a certain step at an angle of 4-5° Fig. 2 and are fixed with two flanges.

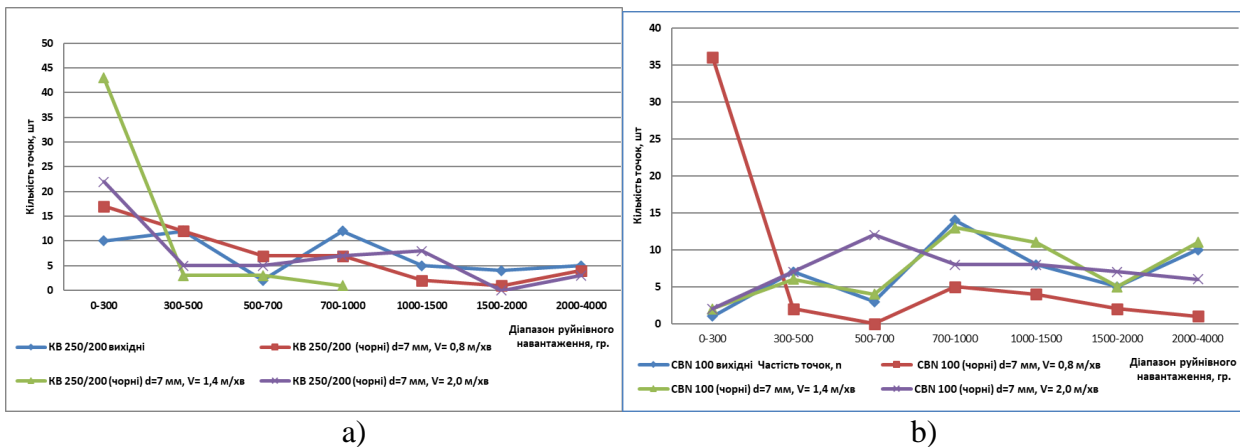


Fig. 2 – Dynamics of changes in the ratio of grain groups by destructive loads after laser exposure under static load: a) CBN 100; b) KV 250/200

The analyzed dynamics shows that CNB grains in the original state have rather uneven strength, although its distribution to some extent follows the law of normal distribution. As noted above, the average strength of CNB grains in the initial state is slightly higher than that of irradiated ones. However, the analysis of the above dependences shows that for some groups of grains under certain irradiation regimes there is a significant, and in some cases extreme, increase in the values of the destructive force. However, the number of grains with low strength, and as a consequence, the presence of a defective structure and a highly developed surface can lead to an increased risk of fracture when irradiated with laser radiation.

As a result of the research, a methodology for defecting grains of SHM powders was developed, and rational areas of application of laser classification methods in powder manufacturing technology were substantiated with the following advantages: significantly increasing the mechanical characteristics of the resulting powders by 1.5-2 times and their separation by removing defective grains from the powders, which reduce the overall strength index; cleaning the surface of grains from contaminants and synthesis products increases the efficiency of using SHM powders in the manufacture of abrasive tools with various bonds due to the tight coverage of the grain by the bond material, and as a result, reducing the specific consumption of SHM

### References

1. Laser Sintering of Abrasive Layers with Inclusions of Cubic Boron Nitride Grains / Honcharuk, O., Zhuk, R., Kaglyak, O. et al. // Lasers Manuf. Mater. Process. (2018) 5: 298-316. <https://doi.org/10.1007/s40516-018-0068-0>
2. Способи підвищення ефективності застосування НТМ при лазерному формуванні абразивного інструменту/ [О. О. Гончарук, Ототюк О.С. ] // Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» : тези доповіді. – Том 2 – 2023. – С. 68-69.
3. Гончарук О. О. Вплив захисного середовища на статичну міцність зерен КНБ при лазерному опроміненні/ [О. О. Гончарук, Ототюк О.С.]// Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»: тези доповіді. – Том 2 – 2023. – С. 64-65.
4. Методи захисту шліфпорошків КНБ при формуванні абразивних шарів [В. В. Огороднік, В. І. Каракулін, О. О. Гончарук ] // Збірка праць Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні» : тези доповіді. – 2020. – С. 170-175.

UDC 621.791.019

**Haievskiy Oleh, PhD, Associate Professor**  
**Haievskiy Volodymyr, PhD, Associate Professor**  
**Kushnir Anton, student**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,  
[ggoa@ukr.net](mailto:ggoa@ukr.net)

## **THE EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF LEAN PRODUCTION ON THE CYCLE TIME OF THE ASSEMBLY AND WELDING PROCESS**

The implementation of lean production allows to significantly reduce costs that do not add value for consumers of products. Five basic principles of Lean production are known [1]: determining value from the point of view of the consumer, planning the flow of value creation, planning the process of value creation, building a "product extraction" system, implementing continuous improvement. At the department of welding production, research is being conducted to determine the possibilities of improving welding processes based on the implementation of the lean production methodology. The methodological basis for research is an international standard ISO 18204:2015 Quantitative methods in process improvement — Six Sigma — Competencies for key personnel and their organizations in relation to Six Sigma and Lean implementation.

It is shown that when planning a production system, it should be assumed that from the point of view of the user of the welded product, the key value is related to the quality of the product. That is, compliance with the established requirements of the product's own functional characteristics and safety characteristics is the main expectation of consumers. In addition, the minimum contract execution time is important.

Manufacturing process bottlenecks within the assembly and welding shop are identified by value stream mapping. These are the places where stoppages occur, forced waiting due to insufficient balancing of the production process, material congestion or failures in the production cycle. Using value creation flow mapping, the optimally required amount of technological and auxiliary equipment for the entire range, the range and the required amount of containers, means of moving material storage locations (including welding materials), assemblies and finished products was determined. As a result, the assembly and welding process, which needs balancing, is determined.

For this process, areas with sequential execution of operations, points of division of the process into separate branches based on either/and, points of unification of the process based on either/or are defined, and a work flow (Workflow) is built. This made it possible to determine the time of performance of work by personnel, machine time, time of the production cycle by process, time of stay of materials in the production system.

To reduce the time of the production cycle, the process of assembly and welding of the product was balanced. In the course of balancing, the minimum necessary amount of equipment that provides the specified production capacity is specified. The optimal planning of the production area of the assembly-welding department is proposed. A "pulling" system is proposed, which allows you to minimize operational stocks, but requires the use of dispatching using KANBAN cards and the creation of intermediate "supermarkets".

Thanks to process balancing and the implemented set of Lean production measures, the production cycle time was reduced by 30%.

### **References**

1. Villanueva, M., Ma, H., Tjell, J., Ramos, G., and Turmo, J. (2022). An Implementation of Lean Approach to Achieve Working Time Efficiency in Precast Factory. *Lean Construction Journal* 2022 pp 41-61. <https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/2022-issue>.

UDK 621.791.92

**Nataliia Strelenko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Yevgenia Chvertko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Serhii Minakov, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Anton Minakov, cand. of technical sciences**  
**Denys Stepanov, cand. of technical sciences**  
**Dmytro Vdovychenko, assistant**  
**Ivan Vdovychenko, assistant**  
**Vitalii Opryshko, student**  
**Mykhailo Melkovskiy, student**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
e.chvertko@gmail.com

### **QUALITY ASSESSMENT OF FLANGE TYPE PARTS DURING 3D MAG SURFACING ON A CYLINDRICAL PIPE**

Quality assurance is an important and integral part of any manufacturing process. Additive manufacturing is no exception. Despite the fact that 3D printing technologies are actually an adaptation of well-known manufacturing processes such as welding or powder metallurgy, the issue of quality control for such products remain largely open today.

This research solves the problem of manufacturing a 35 mm high flange-type part on a 133 mm dia pipe by MAG layer-by-layer deposition.

To achieve the specified flange wall height, 20 layers were performed. The product material is Group 1.1 steel according to ISO/TR 15708.

To determine the presence of critical internal defects, X-ray inspection was used. The definition of defects and the method of were taken from the relevant standards for arc welding [1].

For inspection, the flange was divided into two sectors of 200° each with inspection zones overlapping by 10° per side. Potentially the highest concentration of defects is formed in the area from which each of the deposited layer. In this respect, the sectors were defined in such a way that this zone was assigned to a sector with a margin. The control was carried out according to the methodology [2]. Control conditions:

- Sensitivity level — 0.1,
- Scheme of film transmission and placement — according to item 7.1.7 [2],
- Type of radiation source - X-ray tube 1.2-3BPM5-300,
- Size of the focal spot - 4 mm,
- Film type and optical density - FUGIFILM IX, 2.0,
- Type and thickness of metal screens - lead screen  $\delta=0.05$  mm,
- Voltage - 220 kV, tube current - 10 mA,
- Exposure time - 2 min,
- Type and position of the sensitivity standard - grooved on the source side (item 6.7 [3]).

No defects such as cracks, pores, lack of fusion were detected.

#### **Reference**

1. Surfacing and Additive Technologies in Welded Fabrication / I. Ryabtsev, S. Fomichov, V. Kuznetsov, Y. Chvertko, A. Banin. - Springer, 2023. - 226 P. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-34390-2>
2. ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT)
3. ДСТУ EN ISO 17636-1:2014 Неруйнівний контроль зварних швів. Радіографічний контроль. Частина 1. Способи контролю рентгенівським і гамма-випромінюванням із застосуванням плівки (EN ISO 17636-1:2013, IDT)



UDK 621.791.92

**Denys Stepanov, cand. of technical sciences**  
**Serhii Minakov, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Anton Minakov, cand. of technical sciences**  
**Yevgenia Chvertko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Nataliia Strelenko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Dmytro Vdovychenko, assistant**  
**Ivan Vdovychenko, assistant**  
**Dmytro Biriuk, student**  
**Vladyslav Novak, student**  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
e.chvertko@gmail.com

## **MIG/MAG ADDITIVE MANUFACTURING OF ROTATING BODIES**

Additive manufacturing is one of the newest areas of modern technology development, and one that is developing very dynamically.

A number of additive manufacturing technologies are welding-related, in particular the wire-arc additive manufacturing (WAAM). MIG/MAG welding methods are widely used in WAAM.

Despite some similarities, MIG/MAG welding, surfacing and additive manufacturing technologies have their own unique characteristics. In particular, similar, and often the same, equipment is used to implement all three technology areas. The technological regularities and features established first in welding and then in surfacing are the basis for the development of technologies for additive arc processes in general and in the shielding gas environment in particular.

The objective of research was to develop a technology for multilayer thin-walled surfacing of a rotating body. The technological method used for such task is to shift the welding torch to the direction opposite to rotation. This position reduces the heat input into the product and consequently reduces the penetration of the base metal.

Surfacing was performed using an inverter digital semi-automatic PATON ProMIG-250-15-4 machine, DM-X3 drilling machine and M77 rotator were used as manipulators that ensure movement of the torch and rotation of the product. To control the working movements of the manipulators the Mach3 control program was used.

Before selecting the technological parameters, the numerical modeling of the effect of the heat input on the geometric characteristics of the welding pool and, consequently, on the dimensions of the deposited bead was carried out using the MathCAD program.

Numerical modeling of the heat input is carried out on the basis of the calculation scheme of M. Rykalin. All the classical models are valid for welding processes and, to a large extent, for surfacing. At the same time, they do not take into account the peculiarities of product formation in wire-arc additive manufacturing processes. This said, the above mentioned model was modernized by the researchers of the Department of Welding Production of Igor Sikorsky KPI.

Surfacing was performed using the following process parameters:

- welding current  $I=110-120$  A;
- arc voltage  $U=18.5$  V;
- electrode stick-out  $h=12$  mm.

Surfacing was performed on a cylindrical product 133 mm dia.

The torch was positioned as shown in Figure 1.

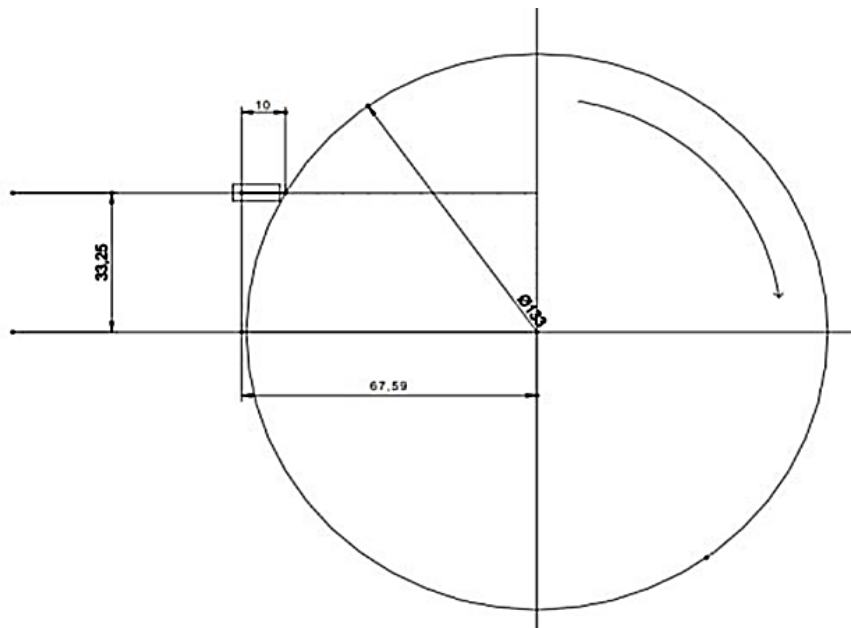


Fig. 1 – Positioning of the welding torch during surfacing

During the surfacing process, the torch position is adjusted along two axes (z, y) to account for the increase in deposited metal for each pass, and the rotational speed is changed so that the linear deposition rate remains unchanged.

The changes in coordinates and speed are shown in Table 1.

Table 1 – Changes in Torch Positioning Coordinates and Manipulator Rotational Speed

Pass number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z coordinate, mm	33.3	34.05	34.85	35.65	36.45	37.25	38.05	38.85	39.65	40.45
y coordinate, mm	67.6	68.97	70.36	71.72	73.13	74.52	75.9	77.29	78.68	80.06
Rotation speed, rpm	356.3	347.63	339.36	331.48	323.95	316.76	309.9	303.3	297.1	285.13

The changes in thickness and increment of the deposited layers are shown in Table 2.

Table 2 – Changes in Height and Increment of Deposited Layer

Pass number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Height of deposited layer, mm	2.5	4	5	6.5	8	9.5	11	12.5	14	15.5
Increment of deposited layer, mm	2.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Since the first bead was deposited on a cold base metal, the formation of a bead of maximum thickness was observed, in the next three passes the process of heat saturation of the base metal and stabilization of the process took place.

Starting from the fifth pass, a uniform increase in the height of the deposited bead is observed, which indicates the stabilization of the process and the equilibrium of the heat input into the base metal and the lower layers of the previously deposited metal.

Such scheme can be used for production of thin-walled products such as flanges on rotating bodies.

Further experiments are aimed at surfacing rotating bodies with torch displacement along three axes.

UDK 621.791.03

**Serhii Minakov, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Anton Minakov, cand. of technical sciences**  
**Denys Stepanov, cand. of technical sciences**  
**Yevgenia Chvertko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Nataliia Strelenko, cand. of technical sciences, associated professor**  
**Dmytro Vdovychenko, assistant**  
**Ivan Vdovychenko, assistant**  
**Anatolii Kuchyк, student**  
**Vsevolod Yivzhenko, student**  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
e.chvertko@gmail.com

## **ADAPTING WELDING EQUIPMENT FOR ADDITIVE MANUFACTURING TASKS**

The rapid development of additive manufacturing technologies has spread to all areas of material joining, and welding has not been spared.

Electric arc welding with a consumable electrode has a large pool of existing equipment and is characterized with significantly higher productivity compared to powder sintering technologies.

Modern tasks of 3D printing of metal products using the MIG/MAG method require the ability to control movements of both the welding torch and the product. Robotic systems and computer numerical control (CNC) machines are used to move the torch. However, speaking about the product movement, the traditional rotators are equipped with DC motor drives and power supplies to control the speed. Programmable speed control is not possible with this type of equipment.

Nevertheless, it is possible to modernize such equipment by installing servo or stepper motors instead of DC motors. Stepper motors have sufficient accuracy characteristics for 3D surfacing tasks and are economically feasible for use in this industry in terms of price and quality.

The M77 welding manipulator was adapted to the tasks of 3D printing by replacing the DC motor with a NEMA 34HS9801 stepper motor.

The stepper motor is controlled by a standard driver. The driver is installed in a 4-axis CNC machine controller. The first three axes of the CNC machine move the welding torch according to the product configuration, while the fourth axis controls the rotation speed. The controller is driven by Mach3 software. The program for controlling the movement speed was written in G-codes.

On the upgraded machine, a 35-mm-high flange was surfaced on a 133-mm-diameter round tube in 20 passes at a constant surfacing speed (Fig. 1).



Fig. 1 – Flange produced using adapted equipment

UDK 621.791.763

**Yevgenia Chvertko, Cand. of technical sciences, associated professor**

**Serhii Minakov, Cand. of technical sciences, associated professor**

**Anton Minakov, Cand. of technical sciences**

**Denys Stepanov, Cand. of technical sciences**

**Nataliia Strelenko, cand. of technical sciences, associated professor**

**Dmytro Vdovychenko, assistant**

**Ivan Vdovychenko, assistant**

**Yevhen Dudka, student**

**Oleg Kozlov, student**

**Mykola Shevchenko, cand. of technical sciences, associated professor**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",

e.chvertko@gmail.com

## **PECULIARITIES OF DETERMINING THE CRITERIA FOR EVALUATING CROSS-WIRE JOINTS MADE BY RESISTANCE SPOT WELDING**

Cross-wire joints are one of the most commonly used in resistance spot welding. Such joints are elements of structures for various purposes: decorative compositions, household items (for example, napkin holders and cup holders), trolleys and baskets for supermarkets, containers for bulk products, etc. In any case, when welding such joints, the issue of quality assurance arises, and therefore, the definition of acceptance criteria.

In general, in modern industry, it is generally accepted that acceptance criteria are a certain compromise between the characteristics of the finished product that the consumer agrees to accept and the characteristics obtained as a result of production processes that the manufacturer is able to provide [1].

Given the wide range of applications for products with cross-wire joints, it can be concluded that it is impossible to set unambiguous quality criteria for such joints. For example, for a purely decorative product, the appearance will be of primary importance, while for a reinforcing mesh, the mechanical strength of the welded joint will be the primary criterion.

When determining the acceptance criteria, it is also necessary to take into account the possibility of applying certain control methods both at the stage of production preparation and during its process. In particular, for products manufactured by resistance spot welding, most non-destructive testing methods are limited in their applicability due to the specific configuration of the joint. Visual inspection provides only an indirect quality assessment, as the welded joint itself is obscured from direct inspection by the product parts.

In view of the above, the following quality criteria can be proposed for crossed wire joints.

1. Phase composition of the joint: fully formed in the solid phase or partially formed in the liquid phase.

2. The presence of a gouge on the external surface of the parts (not allowed for decorative products).

3. The final height of the product at the joint (determines the mutual "sagging" of the wires due to plastic deformation, for decorative products higher values of the parameter are allowed).

4. The presence of splashes (not allowed for products for any purpose, especially due to the risk of increased corrosion). Visually, it can be assessed by the presence of spatter during welding or by the influxes that form at the interface between the parts.

5. Traces of mass transfer of copper from the electrodes to the parts (not allowed for products intended for any purpose, in particular because of the risk of corrosion). It can be visually detected by the presence of characteristic yellowish stains in the areas where the electrodes are pressed.

### **Reference**

1. Quality Management in Welded Fabrication / S. Fomichov, Y. Chvertko, S. Minakov, I. Skachkov, A. Banin. - Springer, 2023. - 213 P. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-34800-6>

УДК 621.791.4

Фальченко Ю.В., докт. техн. наук  
Петрушинець Л.В., канд. техн. наук  
Федорчук В.Є., канд. техн. наук  
Костін В.А., докт. техн. наук  
Пузрін О.Л. мол. наук. співр.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, falchenko@paton.kiev.ua

## ДИFUЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МА2-1М В ФОРМУЮЧИХ МАТРИЦЯХ

Магній та його сплави знаходять все ширше застосування в різних галузях промисловості, таких як автомобільній, аерокосмічній, медичній, тощо. Ефективне використання магнію та його сплавів вимагає розробки відповідних методів з'єднання. Відомо, що зварювання плавленням може призвести до розміщення магнієвих сплавів, формування швів з крупнокристалічною структурою та утворення дефектів (пори, мікрочлуження оксидних плівок і тріщини). Дифузійне зварювання в вакуумі (ДЗВ) є привабливою альтернативою, оскільки дозволяє уникнути цих дефектів.

В роботі проводились дослідження з ДЗВ магнієвого сплаву МА2-1М товщиною 1,4 мм. Процес виконували без проміжних прошарків і через фольги з Ti або Ni на наступному режимі: температура 420 °С, тиск 10 МПа, тривалість витримки 30 хв.

При зварюванні у вільному стані сплаву МА2-1М спостерігається доволі висока пористість з'єднань вздовж лінії з'єднання, що можна пояснити недостатнім ступенем деформації приконттактних об'ємів зразків, тому подальші експерименти проводили в формуючих матрицях.

При зварюванні без проміжних прошарків формується зона з'єднання з чіткою лінією розділу без проростання спільних зерен через неї (рис. 1, а). На деяких ділянках спостерігаються плоскі пори, витягнуті вздовж лінії з'єднання.

При зварюванні магнієвого сплаву через фольгу з нікелю відбувається доволі активна взаємодія прошарку з основним металом з формуванням білих виділень системи Mg-Zn-Al, вздовж яких внаслідок неоднорідних дифузійних потоків відбувається утворення окремих пор (рис. 1, б). Проведення процесу зварювання з використанням фольги Ti дозволяє отримати бездефектне з'єднання (рис. 1, в). В обох випадках спостерігається стоншення фольги, а також її розриви на окремих ділянках внаслідок спрямованої пластичної деформації матеріалу в стикі під час процесу зварювання.

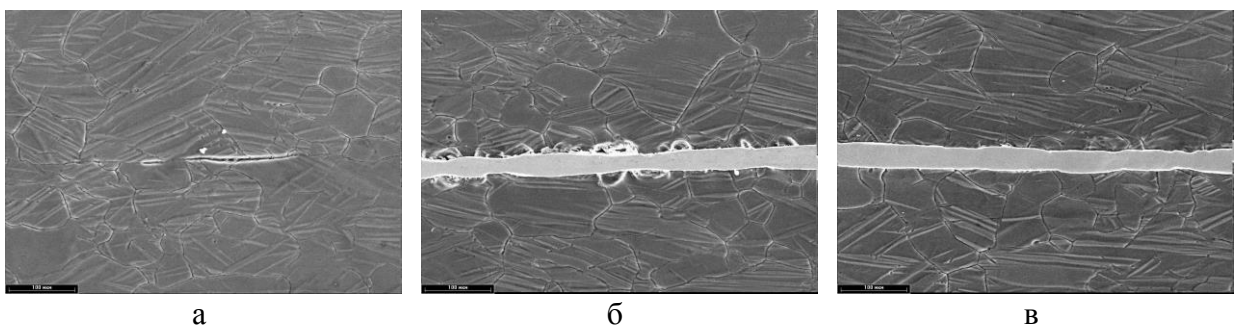


Рис. 1 – Мікроструктура зварних з'єднань зі сплаву МА2, отриманих у формуючих матрицях без (а) і через проміжний прошарок з Ni (б) та Ti (в) на режимі:  $T_{зв} = 420$  °С,  $P_{зв} = 10$  МПа,  $t_{зв} = 30$  хв

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що підвищення ступеня локальної деформації за рахунок використання формуючих матриць сприяє отриманню більш якісних з'єднань, у порівнянні зі зразками, отриманими у вільному стані.

УДК 621.793.14+669.017.3

Клепко О.Ю., канд. фіз.-мат. наук,  
Демченков С.О., канд. техн. наук,  
Устінов А.І., докт. фіз.-мат. наук, професор,  
Самофалов О. В., пров. інженер

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, klepko21@ukr.net

### ФАЗОВІ ТА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ НАГРІВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ФОЛЬГ Ti/Cu ЕВТЕКТИЧНОГО СКЛАДУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ EB-PVD

Відомо, що багатошарові фольги (БФ), які складаються з прошарків реакційних компонентів, характеризуються вираженою гетерогенною структурою і значним запасом внутрішньої енергії [1]. Нагрівання БФ сприяє проходженню в ній твердофазних реакцій, які протікають з високою швидкістю та значним тепловиділенням, а також формуванню наноструктурних складових та пор, що дозволяє використовувати такі фольги як локальне джерело тепла при швидкісній пайці або як проміжні прошарки при дифузійному зварюванні матеріалів, що важко деформуються [2, 3]. При цьому формування наноструктурних та метастабільних складових при нагріванні БФ може приводити до зниження температури фазових та структурних перетворень [4]. Зважаючи на це, було припущено, що використання в якості припою БФ, що складається з шарів компонентів евтектичних систем, дозволить оптимізувати процес високотемпературного паяння: знизити температуру паяння, зменшити товщину припою за рахунок використання тонкої фольги та зменшити концентраційну неоднорідність з'єднання. З цієї точки зору заслуговують уваги сплави системи Ti-Cu, які є основою відомих припоїв для високотемпературного паяння різних матеріалів (наприклад, TiCu<sub>1</sub>70, VTi-1, MBF 5012 та ін.). Методом шарового електронно-променевого осадження було виготовлено серію БФ із співвідношенням компонент, що відповідає хімічному складу евтектики I (Ti<sub>50</sub>-Cu<sub>50</sub> ваг.%) та евтектики II (Ti<sub>22</sub>-Cu<sub>78</sub> ваг.%) та різним періодом чергування шарів (рис. 1).

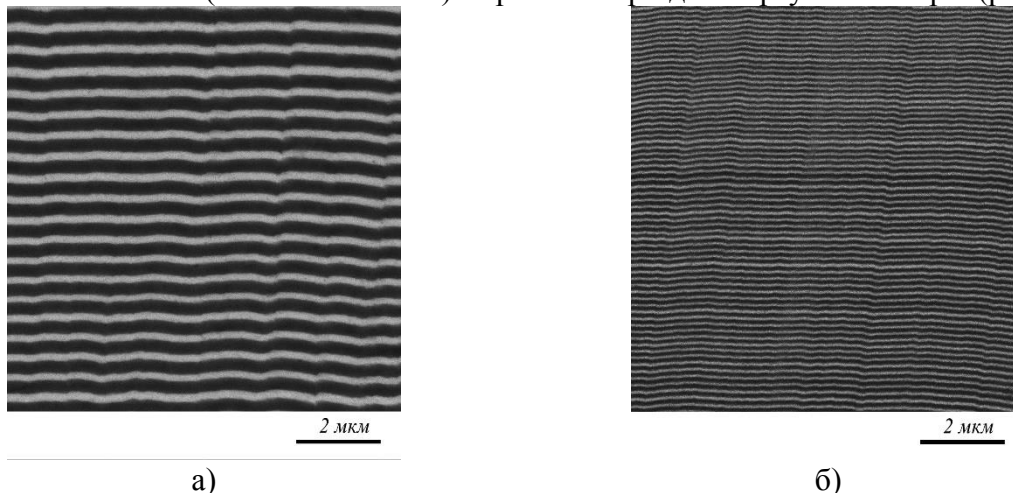


Рис. 1 – СЕМ зображення поперечного перерізу БФ Ti/Cu з періодом чергування шарів 500 нм (а) і 150 нм (б). Темні шари – Ti, світлі шари – Cu.

Методами ДТА, рентгеноструктурного аналізу та електронної мікроскопії було досліджено закономірності формування структури та фазового складу при нагріванні отриманих БФ Ti/Cu. Встановлено, що в процесі нагрівання БФ в інтервалі температур 400...600 °С в результаті дифузійної взаємодії між шарами Ti та Cu утворюються інтерметалеві сполуки: в БФ евтектичного складу I - Cu<sub>4</sub>Ti, Cu<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>, CuTi та CuTi<sub>2</sub>, а в БФ евтектичного складу II - Cu<sub>4</sub>Ti та Cu<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>. При подальшому нагріванні БФ обох евтектичних

складів відбувається процес плавлення. БФ евтектичного складу II починає плавитися при температурі 879 °С, близькій до рівноважної температури плавлення евтектичного сплаву такого ж складу (875 °С), тоді як у випадку БФ евтектичного складу I початок плавлення відбувається при температурі 915 °С, що є нижчою порівняно з температурою плавлення евтектичного сплаву відповідного складу (960 °С). Враховуючи, що в БФ евтектичного складу I в процесі нагрівання утворюються метастабільні фази  $\text{Cu}_4\text{Ti}$  і  $\text{Cu}_4\text{Ti}_3$ , які є компонентами більш легкоплавкої евтектики складу II, зниження температури плавлення БФ може бути обумовлено її метастабільною структурою.

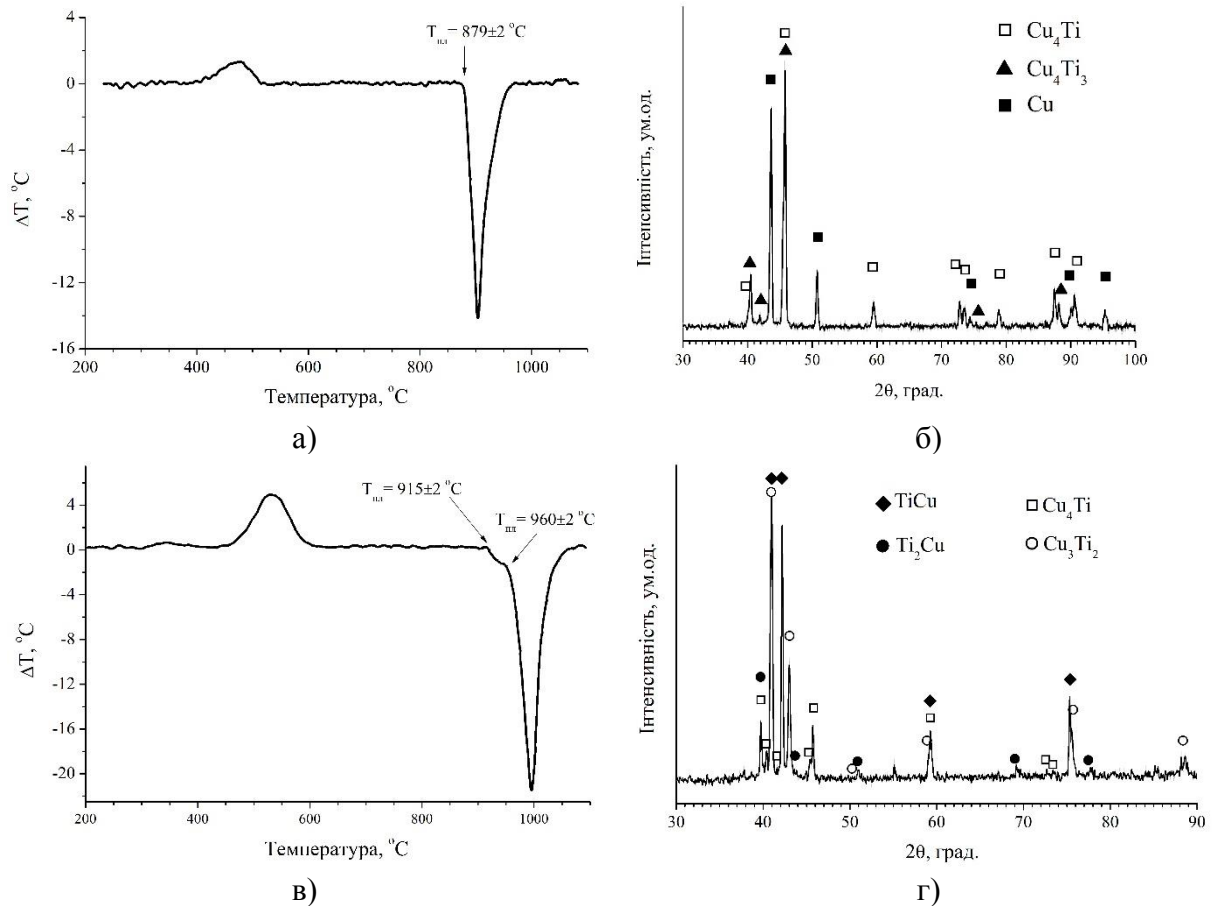


Рис. 2 – Термограми ДТА БФ евтектичного складу I та II (а, в) і дифрактограми (б, г) після нагрівання відповідних фольг до температури 700 °С.

Така поведінка БФ фольги з евтектичним складом I може сприяти пом'якшенню температурних умов, необхідних для встановлення фізичного контакту в зоні з'єднання матеріалів в процесі їх реакційного паяння.

#### Список посилань

1. Weihs T.P. Fabrication and Characterization of Reactive Multilayer Films and Foils. Barmak K., Coffey K. (Eds.) *Metallic Films for Electronic, Optical and Magnetic Applications*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd, 2014. P.160–243. <https://doi.org/10.1533/9780857096296.1.160>
2. Duckham, A., Spey, S.J., Wang, J. et al. Reactive nanostructured foil used as a heat source for joining titanium. *J. of Applied Physics*, 2004, 96, P. 2336–2342. <https://doi.org/10.1063/1.1769097>
3. Ramos A.S., Vieira M.T., Simões S., Viana F. and Vieira M.F. Joining of Superalloys to Intermetallics Using Nanolayers. *Advanced Materials Research*, 2009, 59, P. 225–229. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.59.225>
4. Ustinov A.I., Demchenkov S.A. Influence of metastable Al9Ni2 phase on the sequence of phase transformations initiated by heating of Al/Ni multilayer foils produced by EBPVD method. *Intermetallics*, 2017, 84, P. 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2017.01.005>

УДК 621.793.14+669.017.15:539.434

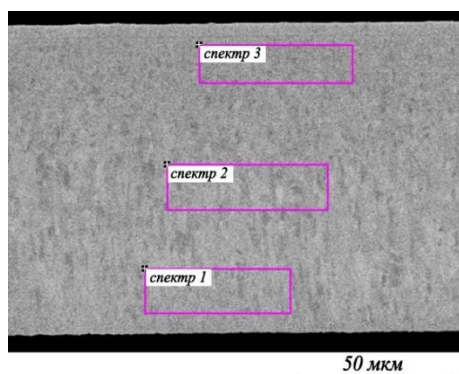
Демченков С.О., канд. техн. наук,  
Устінов А.І., докт. фіз.-мат. наук, професор,  
Фальченко Ю.В., докт. техн. наук, професор,  
Петрушинець Л.В., канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,  
s\_demchenkov@ukr.net

## ВИГОТОВЛЕННЯ ЛЕГКИХ СТІЛЬНИКОВИХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ФОЛЬГИ ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО СПЛАВУ $\text{CoCrFeNiSi}_{0,2}$ , ОТРИМАНОЇ МЕТОДОМ EB-PVD

Легкі теплозахисні стільникові панелі розглядають, як один з найбільш перспективних і ефективних способів вирішення проблеми захисту конструкційних елементів аерокосмічної техніки від розігріву при взаємодії з атмосферою. Особливу увагу привертають тришарові стільникові конструкції теплозахисних панелей на основі металевих систем. Для виготовлення подібних конструкцій традиційно використовують тонколистові жаростійкі матеріали на основі систем Ti-Al, Ni-Cr та інших, з яких тонкі фольги отримують шляхом прокатки литих заготовок або формують методами порошкової металургії. Проте такий підхід значно ускладнює процес отримання тонколистових матеріалів. Крім того, термодформаційна обробка заготовок супроводжується утворенням на поверхні фольги стійкої оксидної плівки, що значно ускладнює отримання нероз'єднаних з'єднань. В зв'язку з цим, отримання тонкої фольги з необхідним комплексом властивостей і розробка методів її з'єднання залишаються актуальними до теперішнього часу.

В останні роки значна увага приділяється так званим високоентропійним сплавам (ВЕС), які характеризуються високою міцністю і термостабільністю, високою зносостійкістю і корозійною стійкістю, а також гідрофобністю і здатністю до зварювання. Авторами [1-4] було показано, що метод високошвидкісного електронно-променевого осадження дозволяє отримувати тонкі фольги ВЕС на основі системи Co-Cr-Fe-Ni з досить широким діапазоном мікромеханічних характеристик, високими демпфуючими властивостями та гарною здатністю до зварювання. Зважаючи на це, метою даної роботи була розробка наукових засад технології виготовлення легких теплозахисних стільникових панелей на основі тонких фольг ВЕС  $\text{CoCrFeNiSi}$ , отриманих методом електронно-променевого осадження у вакуумі.



Таблиця 1 – Хімічний склад (ваг. %) ділянок фольги  $\text{CoCrFeNiSi}_{0,2}$  (див. Рис. 1)

№ ділянки	Cr	Fe	Co	Ni	Si
Спектр 1	22,8	22,6	23,7	25,0	5,9
Спектр 2	24,1	22,3	23,2	24,4	6,1
Спектр 3	24,3	22,6	23,6	23,9	5,6

Рис. 1 – СЕМ зображення мікроструктури поперечного перерізу осаджених фольг ВЕС  $\text{CoCrFeNiSi}_{0,2}$ .

Методом високошвидкісного електронно-променевого осадження у вакуумі було виготовлено серію фольг сплаву  $\text{CoCrFeNiSi}_{0,2}$  завтовшки 80-100 мкм (рис. 1).



Встановлено, що додавання кремнію у кількості близько 5 ваг.% не вплинуло на вихідну структуру та фазовий склад ВЕСу і сприяло зростанню жаростійкості внаслідок пригнічення дифузії кисню по границям зерен та формування на поверхні фольги окалини з високим ступенем суцільності на основі оксиду  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Отримані фольги ВЕС були використані для виготовлення кришок макетів теплозахисних тришарових панелей. Технологічний процес виготовлення макету теплозахисної стільникової панелі включав наступні операції: виготовлення кришок; виготовлення заготовок для стільникового заповнювача; формування із заготовок профільованих стрічок; зварювання стільникового заповнювача; виготовлення стільникових панелей.

В якості форми кришки макету стільникової панелі був вибраний шестикутник, оскільки шестикутна панель може ефективно розподіляти навантаження (наприклад, при повторному входженні в щільні шари атмосфери) та більш рівномірно розігріватись. Шестигранний стільниковий заповнювач виготовляли шляхом точкового зварювання профільованих стрічок, отриманих методом прокатки у профільюючих роликах. Для з'єднання стільникового заповнювача та обшивок (кришок) у єдину конструкцію застосовували дифузійне зварювання у вакуумі.

В такий спосіб було виготовлено серію зразків тришарових стільникових панелей шестикутної форми (рис. 2, а, б) з розмірами  $95 \times 84 \times 10$  мм. Площа робочої поверхні панелі складає  $60 \text{ см}^2$ , питома вага конструкції  $3,3 \text{ кг/м}^2$ .

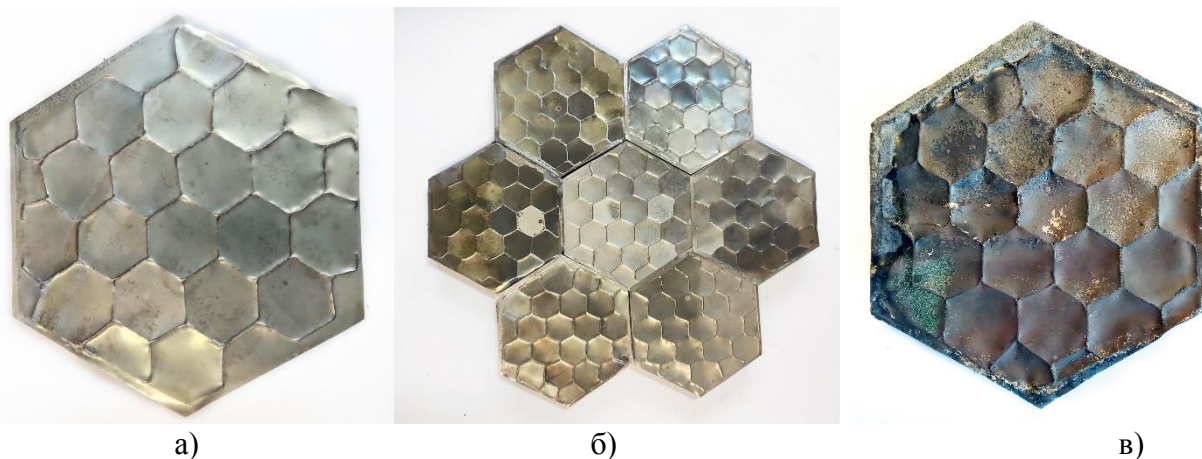


Рис. 2 – Загальний вигляд виготовлених тришарових стільникових панелей (а, б) у вихідному стані та після 10 циклів термообробки (в).

Виготовлені макети тришарових стільникових панелей було перевірено на стійкість конструкції до впливу циклічних термічних навантажень за схемою: 1) внесення панелі в піч, розігріту до температури  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2) витримка в печі протягом 30 хв; 3) вилучення панелі з печі та охолодження до кімнатної температури. На рис. 2, в наведено зовнішній вигляд макету тришарової стільникової панелі після 10 циклів термообробки. Варто відмітити, цілісність кришок панелей і стільникового наповнювача після проведених термоциклів.

#### Список посилань

1. Ustinov A.I. Formation of thin foils of high-entropy CrFeCoNiCu alloys by EB-PVD process / A.I. Ustinov, S.S. Polishchuk, S.A. Demchenkov, T.V. Melnychenko, V.S. Skorodzievskii // *Surface and Coatings Technology*. – 2020. – Vol. 403. – 126440.
2. Устінов А.І. Вплив структури на механічні властивості вакуумних конденсатів високоентропійних сплавів системи Cr–Fe–Co–Ni–Cu / А.І. Устінов, В.С. Скородзієвський, С.О. Демченко, С.С. Поліщук, Т.В. Мельниченко // *Сучасна електрометалургія*. – 2020. – №4. – С.16-22.
3. Ustinov A.I. Effect of structure of high entropy CrFeCoNiCu alloys produced by EB PVD on their strength and dissipative properties / A.I. Ustinov, S.A. Demchenkov, T.V. Melnychenko, V.S. Skorodzievskii, S.S. Polishchuk // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2021. – Vol. 887. – 161408.

4. Ustinov A.I. The influence of copper on the heat resistance of thin foils of high-entropy alloys of the Cr–Fe–Co–Ni–Cu system obtained by the electron beam deposition method / A.I. Ustinov, S.O. Demchenkov, T.V. Melnichenko, O.Yu. Klepko // The Paton Welding Journal. – 2022. – №11. – p.39-44.

УДК 621.941-229.3:531.133

Васильєв Д.В., науковий співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, [dmytrovasil@gmail.com](mailto:dmytrovasil@gmail.com)

## ОЦІНКА СТАБІЛЬНОСТІ ГОРІННЯ ДУГИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ЕЛЕКТРОДАМИ В ПРІСНІЙ ТА МОРСЬКІЙ ВОДІ.

Зварювання під водою є складним і специфічним технологічним процесом, який широко застосовується в суднобудуванні, нафтогазовій промисловості, підводному будівництві та ремонтних роботах. Одним із ключових факторів, що визначають якість зварних швів під водою, є стабільність горіння дугового розряду в водному середовищі. Оскільки прісна та морська вода мають різні фізико-хімічні властивості, важливо оцінити вплив цих середовищ на стабільність горіння дуги при зварюванні електродами.

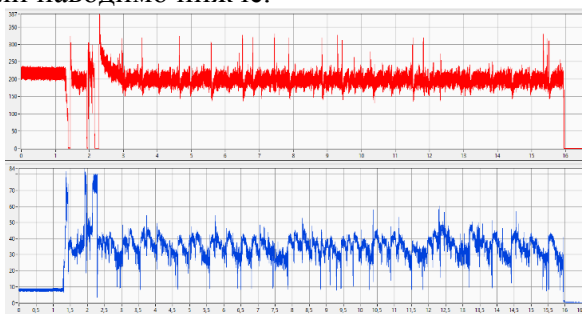
Стабільність дугового розряду залежить від низки факторів, серед яких електропровідність середовища, іонізація, виділення газів, охолодження зварювальної ванни, тип електроду та параметри зварювального струму. Ці фактори можуть по-різному проявлятися в прісній та морській воді, що, в свою чергу, впливає на якість і стабільність процесу зварювання.

Оцінка стабільності горіння дуги при зварюванні електродами в прісній та морській воді має важливе практичне значення для підвищення ефективності та безпеки підводних зварювальних робіт, а також для розробки нових технологій та матеріалів для зварювання у водному середовищі.

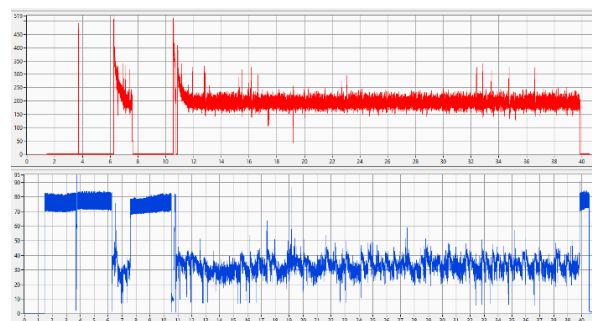
Для досліджень було відібрано та виготовлено дослідні електроди на базі двох газшлакових систем  $\text{CaCO}_3\text{-TiO}_2\text{-KAlSi}_3\text{O}_8$  та  $\text{CaF}_2\text{-TiO}_2\text{-KAlSi}_3\text{O}_8$ . Режим зварювання:  $I_{зв}$  – 190-210 А;  $U_d$  – 20-30 В. Солоність води становила 15 і 30 ‰.

Вивчення електричних параметрів зварювання виконували з використанням інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) на базі персонального комп'ютера з пристроєм зв'язку з об'єктом. Для оцінки процесу зварювання вимірювали такі параметри:  $U_d$  і  $I_{зв}$  – напругу дуги і струм зварювання,  $U_{гд}$  і  $I_{гд}$  – напругу і струм горіння дуги,  $U_{кз}$  і  $I_{кз}$  – напругу і струм короткого замкнення,  $T_{кз}$  – інтервал між короткими замкненнями електродного проміжку краплею розплавленого металу. Характер переносу металу оцінювали за тривалістю коротких замкнень  $t_{кз}$  і їх частотою  $f_{кз}$ .

Для першої газо-шлакової системи ми не отримали суттєвий вплив на процес зварювання ступеню солоності води. Результати досліджень були дуже близькі та майже не відрізнялися. Для другої газо-шлакової системи були більш характерні відмінності. Ці дані ми наводимо нижче.

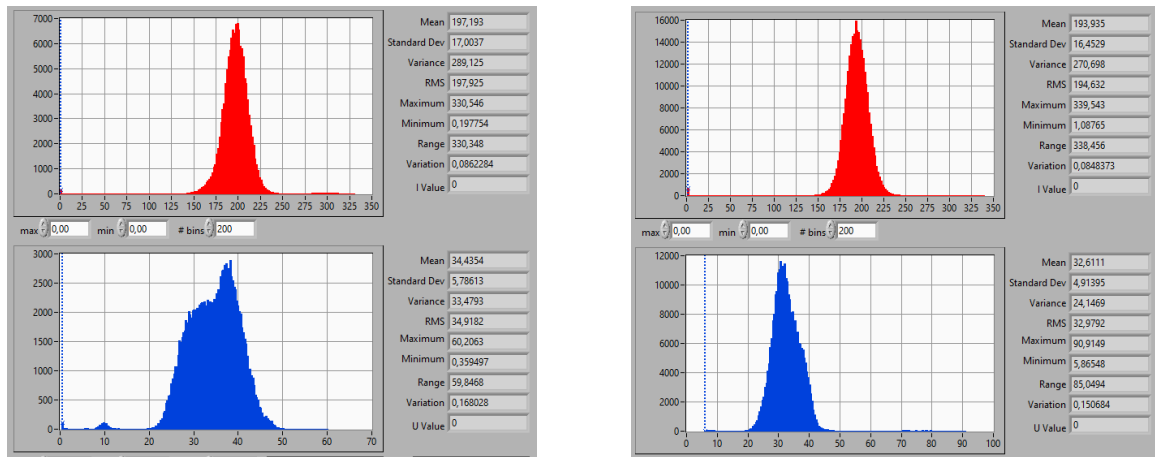


а) в прісній воді



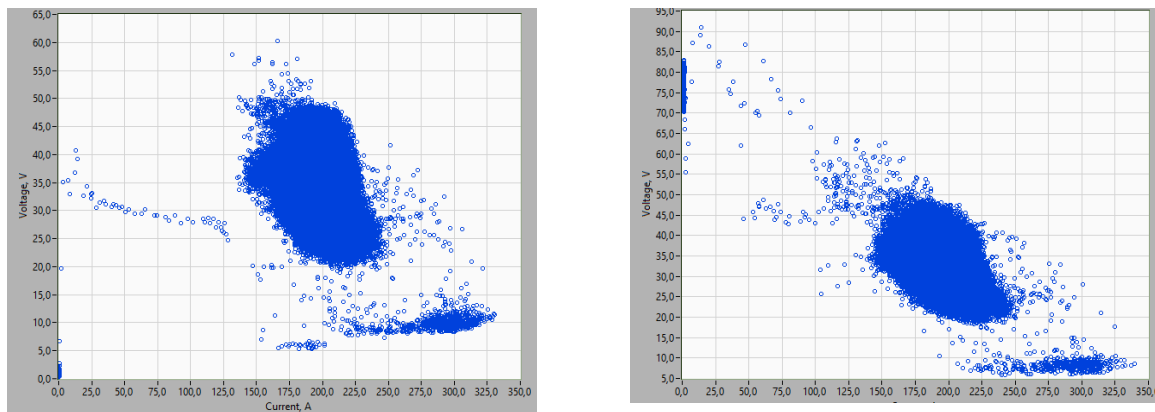
б) в солоній воді, 30‰

Рис. 1 – Осцилограми процесу зварювання



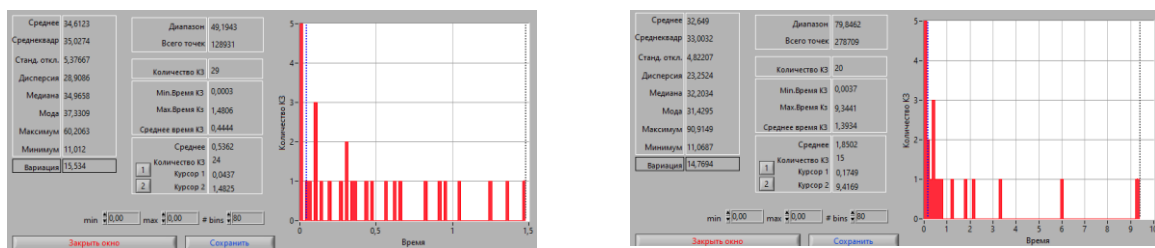
а) в прісній воді б) в солоній воді, 30%

Рис. 2 – Гістограми струму (червоним) та напруги (синім), статистичні дані процесу зварювання. Mean – середнє значення, RMS – середньоквадратичне значення, Variation – коефіцієнт варіації.



а) в прісній воді б) в солоній воді, 30%

Рис. 3. – Вольт- амперна характеристика процесу



а) в прісній воді б) в солоній воді, 30%

Рис. 4 – Гістограми коротких замикань.

В таблиці 1 виконано розрахунок частоти коротких замикань.

Таблиця 1. Вхідні параметри для розрахунку частоти коротких замикань.

Тип води	t1	t2	t	n	fкз
прісна	15,9692	2,99	12,9792	24	1,85
солоня	39,8283	12,8058	27,0225	15	0,55

Як видно з наведених даних, коефіцієнт варіації за напругою зменшився з 16,8% до 15%, кількість коротких замикань знизилась з 24 до 15, відповідно їх частота з 1,85 до 0,55 с<sup>-1</sup>. Проведені дослідження показали, що при зварюванні в солоній воді дослідними електродами процес зварювання стабільніший, характеризується зменшенням лускатості та розбризкування.

УДК 621.791.4:621.791/.792:621.791.052

**Прокоф'єв О. С., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник**  
**Губатюк Р. С., канд. техн. наук, наук. співробітник**  
**Римар С. В., докт. техн. наук, пров. наук. співробітник**  
**Пантелеймонов Є. О., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник**  
**Абдулах В. М., заст. завідуючого відділу**

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, sytor301@ukr.net

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ ІЗ АКТИВУЮЧОЮ РЕЧОВИНОЮ ПРИ ВИКОНАННІ СТИКОВОГО З'ЄДНАННЯ СТАЛЕЙ РІЗНИХ ВИДІВ**

У Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України розроблено спосіб індукційного зварювання тиском із застосуванням активуючих речовин. Спосіб ґрунтується на індукційному нагріванні і застосуванні активуючих речовин в зоні з'єднання, з подальшою її пластичною деформацією при прикладанні тиску. Процес зварювання ведеться без розплавлення основного металу.

До активуючих речовин відносяться суміші у порошкоподібному стані, або у вигляді закладних деталей, які отримано шляхом пресування порошкоподібного припою, флюсів, активуючих добавок. Також активуючі речовини можуть наноситися на зварювальні крайки шляхом напилення порошкових сумішей, або введенням у зону шва надтонких пластинок із заданим хімічним складом. До активуючих речовин можуть відноситися активуючі гази та їх суміші.

Активуючі речовини в зоні шва, при їх розплавленні утворюють рідку фазу, активують і частково легують поверхні основного металу, що з'єднуються, й захищають зону зварювання від атмосферних впливів, що дозволяє знизити температуру проведення процесу зварювання. Активація поверхні – це процес видалення активуючою речовиною, надтонких плівок оксидів, які утворюються на поверхні крайок деталей які зварюються. При цьому відбувається хімічна або електрохімічна дія на поверхню крайок компонентами активуючої речовини.

Температура процесу визначається температурою плавлення застосованих активуючих речовин, яка нижча за температуру плавлення основного металу. Докладання тиску і подальша контрольована пластична деформація зварного з'єднання збільшує площу з'єднувальних поверхонь в шві і сприяє видаленню із зони шва продуктів активації, що омивають крайки основного металу, і є небажаними компонентами в сформованому шві. Формування і утворення самого зварного з'єднання відбувається в твердій фазі, без розплавлення основного металу.

Було апробовано індукційне зварювання тиском із застосуванням активуючих речовин сталей різних видів. Отримано на стрижневих зразках стикове зварне з'єднання сталей із вмістом вуглецю 0,8% і сталі із вмістом вуглецю 0,3%, перша з яких є така, що важко зварюється. При механічному випробуванні з'єднання отримано кут загину  $6^\circ$ , а вигин склав 1/20, що є хорошим показником.

До переваг способу індукційного зварювання тиском із застосуванням активуючих речовин слід віднести: – формування міцного зварного з'єднання без розплавлення основного металу з'єднувальних крайок;

- збереження первинної структури металу без небажаних фазових перетворень;
- контрольована деформація зварювальних крайок;
- відсутність необхідності забезпечення капілярних зазорів між крайками виробів;
- висока виробнича потужність розробленого способу зварювання з прикладанням тиску і можливість автоматизації процесу.

УДК 621.791.75

**Жерносеков А. М., докт. техн. наук, завідувач відділом**  
**Римар С. В., докт. техн. наук, пров. наук, співробітник**  
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ,  
zhernosekov@paton.kiev.ua

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ЕЛЕКТРОДА ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ**

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України продовжуються дослідження щодо залежності ефективності розплавлення електрода від параметрів процесу дугового зварювання. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки.

Коефіцієнт розплавлення електрода не є постійною величиною й змінюється в широких межах у процесі плавлення електрода та не може слугувати об'єктивним критерієм процесу зварювання. Він залежить від параметрів режиму зварювання, виду зварювального струму, тривалості безперервного інтервалу зварювання, навколишнього середовища, від положення електрода в просторі, наявності або відсутності коротких замикань, від кратності струму короткого замикання, що може приводити до появи розходжень у характеристиках зварного шва, особливо на початку й наприкінці зварювання.

Випаровування металу з поверхні краплі значно знижує коефіцієнт розплавлення електрода, тому для збільшення продуктивності перспективним є застосування технологій дугового зварювання, які протікають із мінімальним випаровуванням, наприклад, імпульсно-дугове зварювання плавким електродом в захисних газах, де є можливість регулювати процес формування й перенесення крапель.

Підігрівання електрода підвищує коефіцієнт його розплавлення, що не можна не враховувати при механізованому зварюванні з довгим вильотом, а також при зварюванні штучним електродом. У порівнянні із дуговим зварюванням покритими електродами в повітряному середовищі, при підводному зварюванні розплавлення електрода ускладнене, через інтенсивне відведення тепла водою. Для покращення якості зварного шва необхідно вести зварювання при більшій вкладеній потужності, за рахунок збільшення струму, підбирати режими зварювання з найменшою кількістю коротких замикань, або взагалі без них, зі спеціально підібраними для цього покриттями електродів, знижувати швидкість зварювання для кращого прогрівання виробу й електрода, зменшувати теплопровідність покриття електрода, наприклад, збільшуючи товщину покриття.

При імпульсно-дуговому зварюванні значно зростає ефективність плавлення електрода на режимах з малим випаровуванням металу, а отже, підвищується енергетична й економічна ефективність зварювального процесу. Застосування імпульсу багаторівневої форми, яка розділяє його тепловий і силовий вплив, дозволяє здійснювати процес зварювання з мінімальним випаровуванням металу електрода.

Отримані в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона методики визначення технологічної й енергетичної ефективності процесу плавлення зварювального електрода при різних видах дугового зварювання сталей дозволяють аналізувати поведінку залежностей коефіцієнта розплавлення електрода, масової швидкості його плавлення й коефіцієнта корисної дії процесу плавлення електрода. Процес зварювання із співвісним упорядкованим відривом краплі розплавленого металу електрода, зменшення тепловідводу з поверхні краплі й електрода, підігрівання електрода прохідним струмом підвищує технологічну й енергетичну ефективність зварювального процесу. Найбільшим коефіцієнтом корисної дії й найкращими технологічними параметрами (коефіцієнтом розплавлення й масовою швидкістю плавлення) характеризуються інтенсивні процеси зварювання з більшими густинами струму в електроді.

УДК 669.117.56.002.6

Соловйов В.Г., канд. техн. наук

Романова І.Ю., канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,

romanova@paton.kiev.ua

## МЕТОД МЕХАНІЗОВАНОГО НАПЛАВЛЕННЯ У СТАЦІОНАРНОМУ СТРУМОПІДВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ ДІАМЕТРОМ ДО 200 ММ

В умовах малого об'єму наплавленого шару (50...60 мм) у стаціонарному струмопідвідному кристалізаторі (СПК) використання складних систем керування процесом наплавлення з автоматичним регулюванням швидкості подачі електрода, напруги та споживаної потужності вважається непродуктивним [1–3]. Замість цього пропонується застосування двох механізмів саморегулювання, властивих для електрошлакового наплавлення:

1. Саморегулювання заданої заздалегідь швидкості подачі електрода, що забезпечує стабільність його плавлення.

2. Саморегулювання напруги на клеммах СПК при контрольованій електропровідності, для регулювання потужності, що подається, та адаптації до змін електропровідності у шлаковій ванні.

Ці механізми дозволять скоротити кількість ручних операцій та значно підвищити ефективність процесу наплавлення. Визначення значень перелічених параметрів можливе за допомогою запропонованої мультифізичної моделі стаціонарного струмопідвідного кристалізатора з плавким електродом (рис. 1).

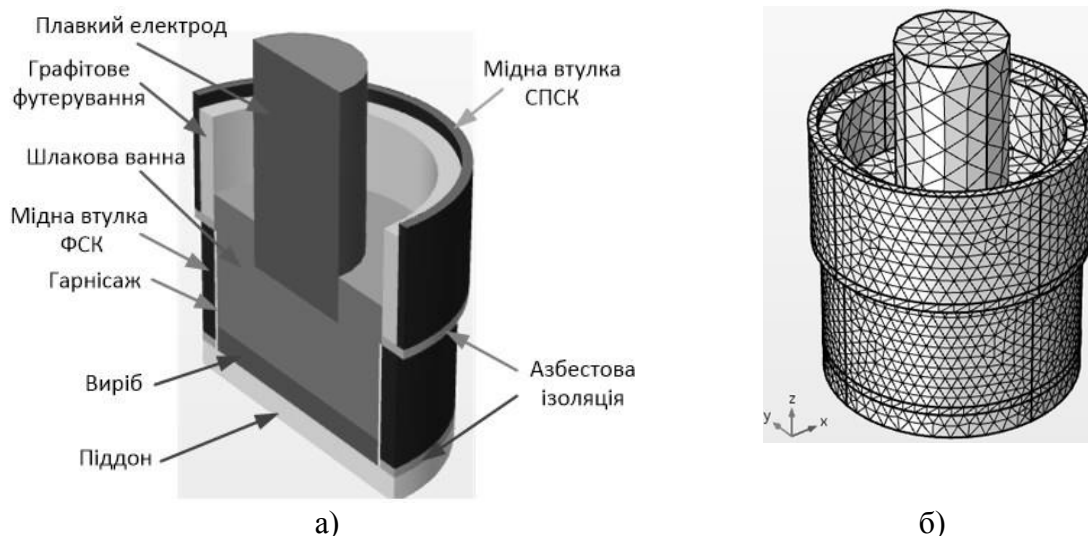


Рис. 1 – Приклади схеми моделі: а – структура СПК; б – скінчено-елементна модель СПК

### Список посилань

1. Ярымбаш Д.С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети [Текст] / Ярымбаш Д.С. Килимник И.М., Ярымбаш С.Т. // Электротехника та електроенергетика. – 2015. – №2. С. 65–70.
2. Кусков Ю.М. Электрошлаковая наплавка электродом большого сечения на постоянном токе в токоподводящем кристаллизаторе [Текст] / Кусков Ю.М., Соловьев В.Г., Осечков П.П., Осин В.В. // Автоматическая сварка. – 2018. – №3. – С. 38–42.
3. Соловьев В.Г. Влияние технологических и электрических параметров ЭШН в токоподводящем кристаллизаторе на скорость плавления электрода и проплавление основного металла [Текст] / Соловьев В.Г., Кусков Ю.М. // Автоматическая сварка. – 2018. – №6. – С. 24–32.

УДК 620.178.169

Башев В.Ф., докт. фіз.-мат. наук, професор  
Томін С.В., аспірант  
Катков Б.Р., магістр  
Гурін І.В., аспірант  
Попіль О.І. аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, tominsvatoslav@gmail.com

## ВПЛИВ БІНАРНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ AL-NI НА ПОКАЗНИК АБРАЗИВНОГО СТИРАННЯ НАДВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

У процесі експлуатації металеві вироби конструкційного та триботехнічного призначення у сільськогосподарській, гірничорудній та автомобільній техніці під дією часток абразиву (гірські породи, глинозем, пісок), зазнають абразивного зношування [1]. Одним із ефективних способів зменшення показника абразивного стирання цих виробів є використання металополімерних композитів (МПК), що містять, як наповнювач, Fe, Al, Ni, Cu, Ti [2]. Враховуючи зазначене, пошук нових складів МПК є актуальним.

Як полімерну матрицю для МПК обрали надвисокомолекулярний поліетилен (НВМПЕ, виробник Jiujiang Zhongke Xinxing New Material Co.,Ltd., Китай). Як наповнювач для НВМПЕ обрали дисперсний (50-100 мкм) рідинно-загартований (ЗРС) зі швидкістю  $\sim 10^6$  К/с бінарний алюмінієвий сплав системи Al-Ni із вмістом нікелю – 3, 5,  $10 \pm 1$  мас.%. Формування виробів із МПК здійснювали методом компресійного пресування [3]. Показник абразивного стирання по жорсткозакріпленим часткам абразиву (дисперсність 100 мкм) здійснювали з використанням дослідної машини HESKERT. За допомогою мікроскопу БЮЛАМ-М, оснащеного цифровою камерою фірми TREK, здійснювали дослідження поверхонь тертя НВМПЕ та МПК на його основі.

Встановлено, що введення ЗРС-металевого сплаву системи Al-Ni до НВМПЕ призводить до зменшення показника абразивного стирання до 45%. Це обумовлено тим, що введення як посилюючої складової дисперсного ЗРС-металевого бінарного сплаву системи Al-Ni, призводить до зміцнення НВМПЕ, і, як наслідок, до зростання опору поверхонь дряпаючому та різальному впливу часток абразиву (рис.1).

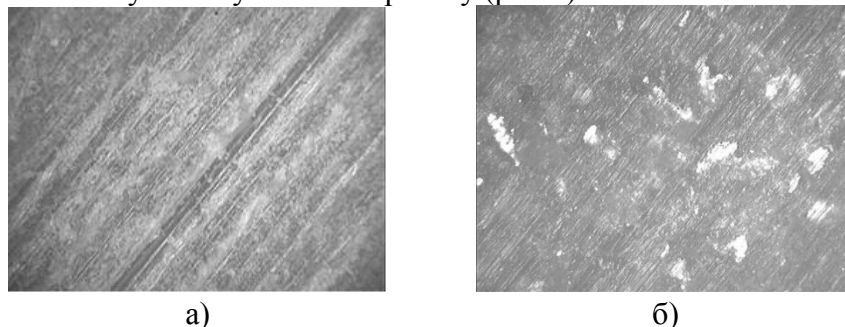


Рис. 1 – Поверхні тертя а) надвисокомолекулярного поліетилену; б) МПК на його основі, що містить 20 мас.% сплаву системи Al-Ni, з вмістом Ni-5 мас.%

### Список посилань

1. Борак К. В. Уплив коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин / К. В. Борак // Наукові праці ВНТУ. 2020. – № 1. – С. 46–56.
2. Полімерні композити на основі термопластичних в'язучих / Буря О.І., та ін. – Дніпро: Середняк Т.К., 2019. – 239 с.
3. Tomina A.-M.V, Yeromenko O. V. The dependence of the abrasive wear resistance of ultra-high-molecular-weight polyethylene on the content of mineral fillers with needle-like structure / A.-M.V. Tomina, O. V. Yeromenko // Functional Materials, 2023. – №3(30). – С. 403 – 406.

УДК 621.891

**Широков В. В.,** докт. техн. наук, професор  
**Шахбазов Я. О.,** докт. техн. наук, професор  
 Українська академія друкарства, м. Львів, shah-nika@ukr.net  
**Білоус О.В.,** канд. техн. наук, доцент  
 Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

### **ФОРМУВАННЯ ВТОРИННИХ СТРУКТУР НА МЕЖІ СТАЛЕВОЇ І ДУРАЛЮМІНОВОЇ ПОВЕРХОНЬ ЗА ФРИКЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ**

Завдяки оптимальним фізико-механічним властивостям та здатності до хіміко-термічної обробки сталі типу 38X2HMA, 30XH2MFA, тощо знайшли широке застосування у виробках загального машинобудування та спецтехніки. У багатьох випадках вони повинні бути опірними зношенню різних видів, мінімізації якого досягають застосуванням рідинного або часткового мащення. Це передбачає складність процесів у системі «твердий метал-складові зовнішнього та мастильного середовищ-вторинні сполуки». Тому на сьогодні проблема прогнозування та моделювання поведінки таких систем, зокрема новоутворених оксидних плівок, які б забезпечували беззношуваність матеріалів за їх фрикційного контакту та масоперенесення є актуальною і недостатньо вивченою. Крім того, останнє зумовлено ще й тим, що такі дослідження потребують високоточних методів із застосуванням сучасного експериментального обладнання і програмних засобів.

Таблиця 1. – Хімічний склад взірців дуралюміну

ELEMENTS	WEIGHT, %	ATOMIC, %
12 (Mg)	1,5105	1,7309
13 (Al)	92,6562	95,6452
23 (V)	0,251	0,0137
24 (Cr)	0,0241	0,0124
25 (Mn)	0,6008	0,3046
26 (Fe)	0,3485	0,1738
28 (Ni)	0,0344	0,0163
29 (Cu)	4,6806	2,0515
30 (Zn)	0,1199	0,0511

Матеріали для досліджень вибиралися з урахуванням реальних пар тертя, зокрема моделювався процес тертя за схемою «палець – диск» (контртіло – сталь 38X2HMA, взірець – дуралюмін, табл.1 і 2) у оливі, що містила фтор і хлор.

Таблиця 2. – Хімічний склад контртіла (сталь 38X2HMA)

ELEMENTS	WEIGHT, %	ATOMIC, %
14 (Si)	0,265	0,4989
23 (V)	0,1794	0,1924
24 (Cr)	0,9735	1,0229
25 (Mn)	0,7186	0,7147
26 (Fe)	95,6789	93,6032
28 (Ni)	1,4977	1,3937
42 (Mo)	0,1480	0,6849
6 (C)	0,5674	2,4899

Мікрорентгеноспектральні дослідження шарів вторинних структур проводили на рентгенівському мікрозонді MS-46, CAMECA. В процесі сканування електронним зондом по поверхні основного металу і шару вторинних структур в напрямку, перпендикулярному до поверхні, здійснювався запис розподілу основних хімічних елементів та їх концентрації.



Було проведено кількісний аналіз складу шарів вторинних структур для цього були виготовлені косі шліфи під кутом до поверхонь тертя взірців та відповідних контртіл (на поверхні останніх також було виявлено вторинні структури). Це дозволило збільшити лінійні розміри шарів до 30 раз. Аналіз проводився поточною за режиму зонду 20 кВ, 25 нА. Інтенсивності досліджуваних спектральних ліній в дослідних об'єктах вимірювалися відносно інтенсивностей цих же ліній для чистих елементів – еталонів. Інтенсивність К $\alpha$  - ліній Сl вимірювалися відносно NaCl. Розрахунок концентрації проводився за програмою, яка враховує поправки на атомний номер, поглинання і флуоресценцію. Отримані концентрації нормувалися до 100%.

Отримано зображення ділянок косих шліфів поверхонь тертя взірців та контртіла в рентгенівському випромінюванні основних хімічних елементів, які присутні в даному взірці і в поглинених електронах. В табл. 3,4 наведено хімічні склади для відповідних шарів вторинних структур. Після тертя на поверхні дуралюмінію утворюються продукти фізико-хімічних реакцій та поверхневого руйнування обох матеріалів, як правило у вигляді дефектних прошарків, які не щільно прилягають до основи. Порівняно з внутрішніми об'ємами для поверхневих шарів характерне суттєве зростання концентрації хлору та заліза і її зменшення для алюмінію.

Це свідчить про той факт, що тертя супроводжувалося інтенсивним масоперенесенням елементів контртіла на поверхню дуралюмінію.

Таблиця 3. – Хімічний склад вторинних структур на дуралюміні після тертя в парі зі сталлю 38X2HMA у фтор – хлор – масляному середовищі

ELEMENTS	WEIGHT, %	ATOMIC, %
12 (Mg)	1,2106	1,4076
13 (Al)	87,7414	91,9000
23 (V)	4,8111	3,8350
24 (Cr)	0,0848	0,0304
25 (Mn)	0,5353	0,2753
26 (Fe)	0,6429	0,3253
28 (Ni)	0,0249	0,0120
29 (Cu)	4,9791	2,2143

Таблиця 4. – Хімічний склад вторинних структур на сталі 38X2HMA після тертя в парі із дуралюмініом з у фтор – хлор – масляному середовищі

ELEMENTS	WEIGHT, %	ATOMIC, %
12 (Mg)	1,1935	1,3843
13 (Al)	89,9940	94,0288
17 (Cl)	1,5120	1,2023
23 (V)	0,0376	0,0208
24 (Cr)	0,0480	0,0260
25 (Mn)	0,4809	0,2468
26 (Fe)	2,2089	1,1150
28 (Ni)	0,0575	0,0276
29 (Cu)	4,2097	1,8676
30 (Zn)	0,0360	0,0155
42 (Mo)	0,2220	0,0652

Слід відмітити, що не виключена можливість присутності фтору в шарах вторинних структур, але для підтвердження необхідні додаткові дослідження. Таким чином, у випадку реалізації контрольованого впливу на вторинні структури, можна змінювати їх склад, а отже і опір зношуванню.

УДК 621.79:669

Головко В.В., докт. техн. наук, с.н.с.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України,  
v\_golovko@ukr.net

Штофель О.О., канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України,  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
o.shtof@gmail.com

## МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОПИСУ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ

Сучасна промисловість потребує нових марок сталей і покращених технологій зварювання. Важливо дослідити, як структура впливає на властивості зварних з'єднань, зокрема морфологія елементів структури. Традиційні методи аналізу не враховують всі аспекти реальних структур, і прогнозування властивостей металу застосовує лінійну регресію [1, 2], але цей підхід має обмеження. В основі лінійної моделі лежать рівняння регресійного аналізу, які мають базуватися на певних припущеннях. Відхилення від цих припущень приводить до похибки в інтерпретації  $R^2$  як показника доцільності лінійної моделі (рис.1).

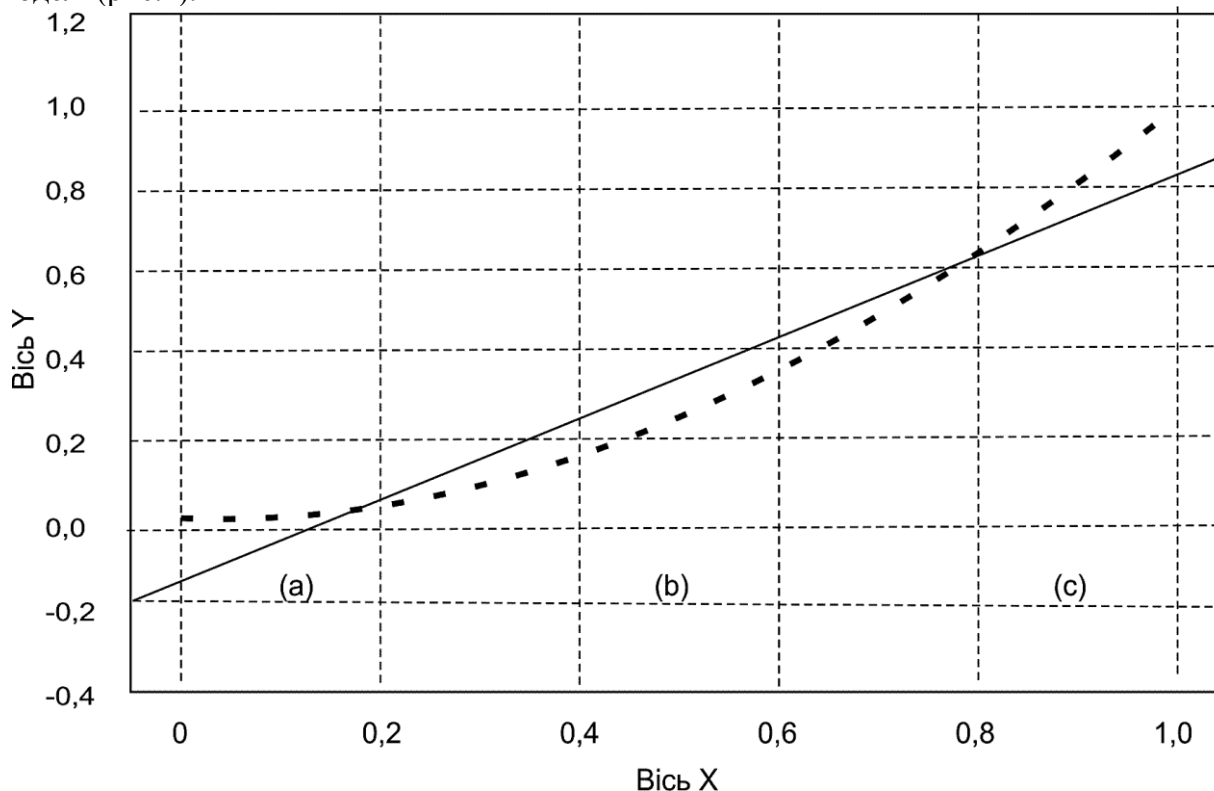


Рис. 1 – Парабола  $y = x^2$  нанесена на лінію лінійної регресії у формі  $y = b_1x + b_0$ , з  $b_1 = 0,98$  і  $b_0 = - 0,15$ .

Є два систематичні кластери відхилень над графіком параболі в областях (a) і (c) і під графіком в області (b), які показують, що лінійна модель погано відповідає параболі, незважаючи на високий коефіцієнт регресії ( $R^2 = 0,936$ ).

Існують два основних припущення, які мають бути дотримані при лінійному аналізі. Перша вимога полягає в тому, що дисперсія експериментальних даних навколо лінії тренду має бути постійною у всьому діапазоні даних. На практиці, ця вимога майже ніколи суворо не витримується в зв'язку наявністю певних помірних відхилень. Друга вимога пов'язана з

відсутністю «згустків» дисперсій по обидва боки від нульового рівня. Якщо відхилення від першої вимоги впливають на рівень похибки величини  $R^2$ , то порушення другої може привести до невірної інтерпретації описуваної залежності.

Вплив таких порушень на результат моделювання продемонстровано в роботі [3] на прикладі аналізу залежності другого порядку  $x = y^2$ . При обчисленні  $R^2$  для параболи  $y = x^2$  в інтервал  $0 \leq x \leq 1$ , отримуємо значення  $R^2$  до 0,936.

Виявлення відхилень у трьох областях може вказувати на можливу неадекватність лінійної моделі у випадку степеневі залежності. Це може мати значення лише в певному діапазоні значень незалежної змінної. Наприклад, використання лінійної регресії може бути необґрунтованим поза визначеним діапазоном, де вона може значно відхилятися від функції. Ймовірність того, що ці відхилення випадкові, дуже мала (менше 0,01), тому лінійна модель не може бути прийнята, навіть з високим коефіцієнтом регресії.

Для більш адекватного аналізу степеневих функцій потрібно використовувати чисельну базу експериментальних даних. Але надмірна трудомісткість ручного заповнення бази даних ускладнює цей процес. Використання комп'ютерних програм може бути альтернативою. Наприклад, в інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України розроблено пакет [4], який дозволяє автоматизувати оцифрування зображень та виконувати фрактальний аналіз.

Для коректного фрактального аналізу потрібно мати достатню базу даних, яка охоплює широкий діапазон значень - більше 20 точок для лінійного відношення. Крім того, значення повинні охоплювати декілька порядків величини, щоб фрактальний аналіз був достовірним. Присутність на зображеннях складових структури металу у відповідному діапазоні розмірів забезпечує виконання цих вимог.

При виконанні аналізу слід переконатися, що дані демонструють самоподібність, а не просту лінійність. Використання недостатнього обсягу даних може призвести до некоректних результатів.

#### Список посилань

1. Бердникова Е.Н. Структурная оценка трещиностойкости сварных соединений высокопрочных сталей / Е.Н. Бердникова // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, №6. – С.43–47.
2. Lutsenko V. Modeling of the influence of the chemical composition and structure on the mechanical properties of alloy rolled products / V. Lutsenko, T. Golubenko, I. Chuiko, O. Lutsenko // Modern problems of metallurgy. – 2022. – No. 25. – p. 93-101.
3. Gonzato G. Practical application of fractal analysis: problems and solutions / Guido Gonzato, Francesco Mulargia and Warner Marzocchi // GeophysJ. Int. (1998) 132. – p. 275-282.
4. Головка В.В. Побудова аналітичної моделі мультифрактальної множини, яка відзеркалює вплив фрактальних параметрів структурних складових на механічні властивості наплавленого металу / Головка В.В., Штофель О.О., Красіков І.В. // Автоматичне зварювання. – 2024. – №1. – С. 43-50.

УДК 621.791

**Костін О.М., канд. техн. наук, професор**

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, [kostin.weld@gmail.com](mailto:kostin.weld@gmail.com)

**Мартиненко В.О., канд. техн. наук, доцент**

Миколаївський національний аграрний університет, [martynenko@mnau.edu.ua](mailto:martynenko@mnau.edu.ua)

#### РЕМОНТНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ВАЛКІВ ЗІ СТАЛЕЙ ТИПУ 45ХНМ ТА 42Х2ГСНМА

На підприємствах металургійної галузі постійно виконують виготовлення та ремонт оснастки для різних технологічних операцій, в тому числі прокатних валків. Для підвищення довговічності та зменшення термінів ремонту обладнання був проведений аналіз застосування наявних наплавних матеріалів з урахуванням оптимального поєднання

вартості та ресурсу інструменту. Ремонт наплавленням є ефективним з огляду вартості, порівняно з придбанням нових деталей. Штампи, бойки для гарячого штампування та кування, прес-форми для лиття під тиском, які піддаються термодформаційному навантаженню та зношуванню, потребують вдосконалення технології ремонтного наплавлення. При виборі наплавного матеріалу важливо враховувати комплекс його властивостей залежно від умов експлуатації. В роботі розглянуто особливості технології ремонтного наплавлення валків зі сталі 45ХНМ та 42Х2ГСНМА.

Для відновлення поверхні використовували зварювальні матеріали від компанії ESAB. На механічно оброблену поверхню наносили підшар за допомогою дроту ОК Tubrodur 14.71, з метою формування металу зі структурою метастабільного аустеніту, що запобігає утворенню холодних тріщин в основному металі. Після цього наносили робочий шар металу дротом ОК Tubrodur 55.

Для досліджень був підготовлений зразок розміром 30x50 мм з видимою тріщиною, макроструктура якого показана на рисунку 1. Аналіз макроструктури показав формування підшару аустенітного матеріалу (зона 2 на рис. 1) та робочого шару (зона 1), на поверхні зразка (зона 3). Також була виявлена тріщина (зона 5), яка простягалася вздовж лінії сплавлення. З огляду тріщини можна припустити, що вона почала розвиватися з торця зразка.

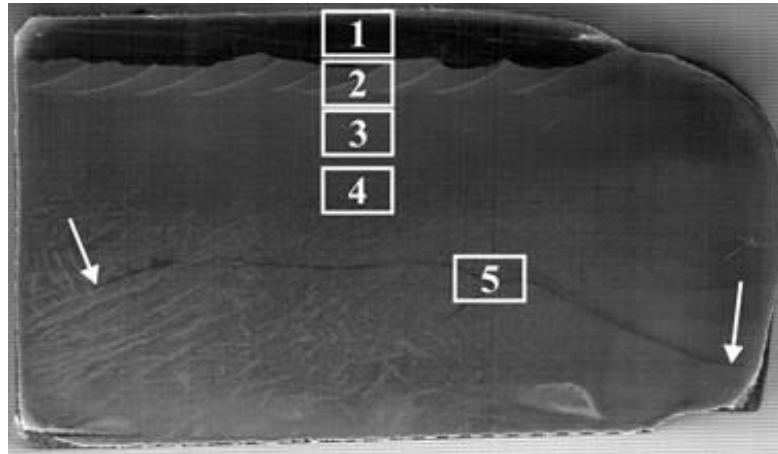


Рис. 1 – Макроструктура зразка (×1)

Заміри твердості позначених на рис. 1 зон представлено в таблиці 1. Вимірювання твердості виконували методом Віккерсу з навантаженням на індентор 98,1N (HV10).

Твердість другої зони відповідає значенням метастабільного аустеніту. Зона наплавлення має твердість у діапазоні 442 до 468 HV10, третя зона має незначний вплив дії наплавлення, а зони 4 та 5 представляють собою основний метал з твердістю у діапазоні 590 до 649 HV10, що є характерним для основного металу після термічної обробки.

Таблиця 1 – Розподіл твердості у наплавленому з'єднанні, HV10

№ зони	1	2	3	4	5
Твердість	442	289	450	649	620
	468	274	425	627	601
	453	280	447	610	590

Мікроструктуру зазначених зон зразка показано на рисунку 2. Результати досліджень доводять, що після наплавлення аустенітним матеріалом (рис. 2, а) в ЗТВ спостерігається незначне зростання зерна в основному металі, що призводить до зміни фазового складу та впливає на твердість (рис. 3, в). Структура робочого шару (рис. 3, б) має характерну будову, яка містить мартенсит і бейніт. Залежно від кількості бейніту твердість можна регулювати (більше бейніту - менша твердість). Мікроструктура основного металу показана на рис. 2, г, д. Ділянка, з тріщиною показана на рис. 2, е.

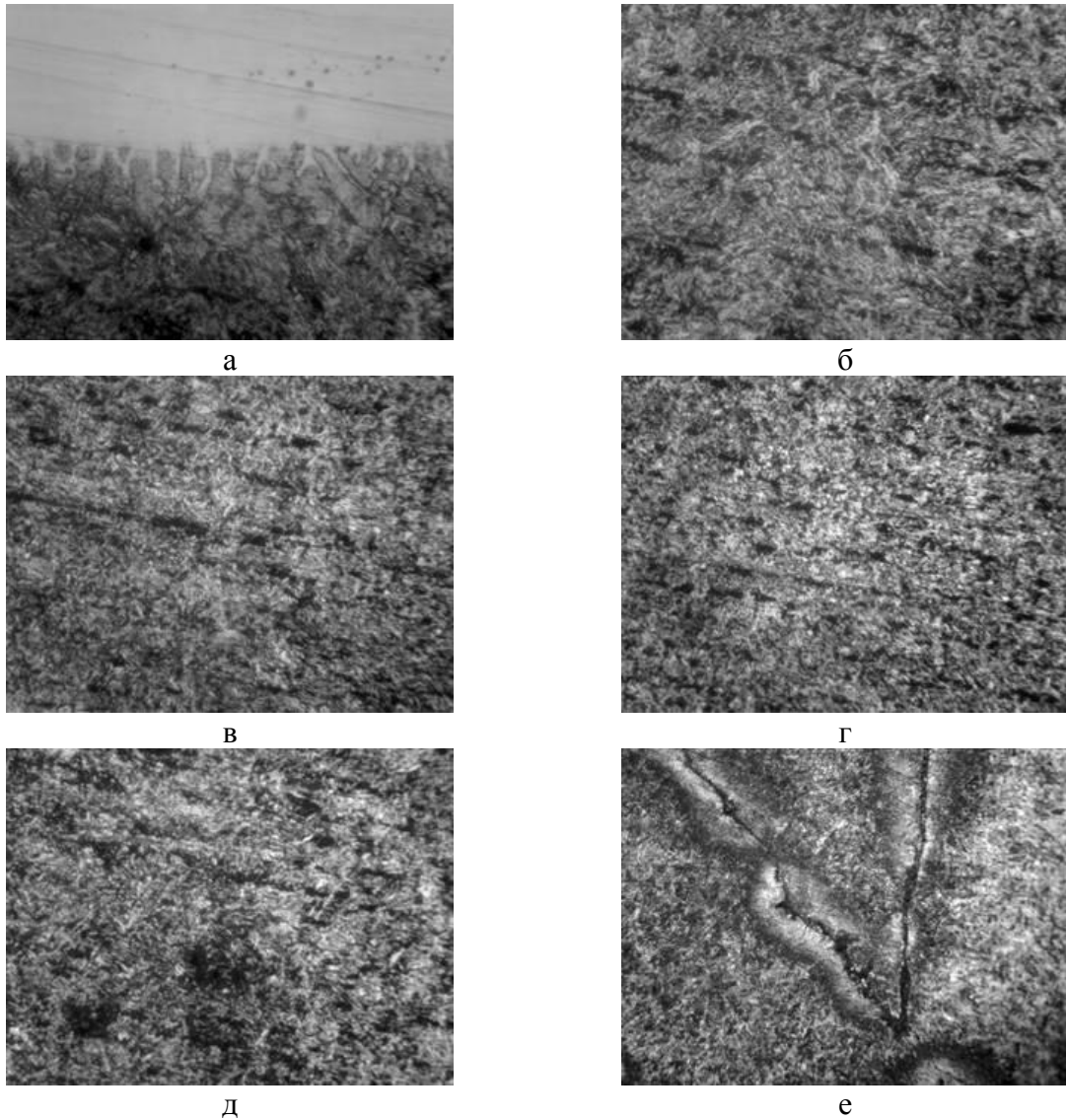


Рис. 2. – Мікроструктура наплавленого виробу, х300.

Аналіз металографічних досліджень показав, що основний метал зразка, який взято з деталі на відновлення, має високу твердість. Мікроструктура металу є мартенситно-бейнітною, що було досягнуто за допомогою термічної обробки (гартування + відпустка). Твердість знаходиться на рівні 50-54 HRC (за шкалою Роквелла).

Тріщина, яка була виявлена в процесі досліджень, розташована на відстані 10-15 мм від зони наплавлення. За характером руйнування та місцем розташування, ймовірно, це тріщина втоми, яка розкрилася за рахунок внутрішніх власних напружень, що виникли в деталі при наплавленні.

У зв'язку з цим, рекомендовано, відновлювальне наплавлення деталей виконувати після обов'язкового ультразвукового контролю на наявність внутрішніх дефектів втоми.

#### Список посилань

1. Zhang, J., Zhou, J., Tao, Y. et al. (2015) The microstructure and properties change of dies manufactured by bimetal-gradient-layer surfacing technology. *Ibid.*, 80, 1807–1814 (2015). doi:10.1007/s00170-015-7170-7
2. Ahn, D.-G. (2013) Hardfacing technologies for improvement of wear characteristics of hot working tools: A review. *Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing*, 14, 7, 1271–1283. doi:10.1007/s12541-013-0174-z

УДК621.791.03

Лебедєв В. О., докт. техн. наук, професор  
Лой С.А., старший викладач  
Спіхтаренко В.В., доцент

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, valpaton@ukr.net

## ВАРІАНТ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЛИКОВОГО МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ

Механізм подачі електродного дроту є однією з основних систем зварювальних автоматів та напівавтоматів різного призначення. Від характеристик цієї системи залежить надійність та якість дугового обладнання в цілому.

Однією з найбільш важливих характеристик роликвого механізму подачі є його здатність забезпечувати необхідне тягове зусилля для надійного руху в зону горіння дуги.

Відомо, що залежність  $F_{\text{тяги}} = f(D_{p.\text{под}})$  (де  $F_{\text{тяги}}$  – тягове зусилля роликів,  $D_{p.\text{под}}$  – діаметр ролика) носить зростаючий характер. Це можна пояснити, використовуючи аналітичні висновки. На рис.1 показано взаємне розташування одного з роликів і дроту. З побудови можна визначити залежність довжини контакту  $l_k$  від діаметра ролика  $D_{p.\text{под}}$  у вигляді:

$$l_k = 2\sqrt{D_{p.\text{под}}\lambda - \lambda^2}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – величина пластичної або пружної деформації дроту.

З залежності (1) видно, що зі збільшенням діаметра ролика зростає величина контактної плями на дроті від ролика та зростає коефіцієнт їх зчеплення. Результатом є збільшення тягових можливостей. Це

очевидно за умови, що незалежно від діаметра ролика, деформація дроту залишається постійною. Для отримання сталості деформації  $\lambda$  необхідно зі зростанням діаметра ролика підвищувати зусилля притискання ролика до дроту за умови пружних деформацій:

$$\lambda = \alpha \sqrt{\frac{3P(R_{p.\text{под}} + R_d)}{2\nu R_{p.\text{под}} R_d}}, \quad (2)$$

де  $R_{p.\text{под}}$ ,  $R_d$ ,  $P$  – радіуси подаючого ролика та дроту;  
 $P$  – зусилля притискання;

$\alpha$  – величина, яка залежить від співвідношення  $R_{p.\text{под}}/R_d$  і незначно зменшується при збільшенні цього співвідношення;

$\nu$  – коефіцієнт, що враховує пружні деформації і визначається у вигляді:

$$\nu = [E_1/(1-\mu_1)] - [E_2/(1-\mu_2)],$$

де  $E_1$ ,  $\mu_1$ ,  $E_2$ ,  $\mu_2$  – відповідно модулі пружності та коефіцієнти Пуассона для подаючого ролика і дроту.

Враховуючи, що  $D_{p.\text{под}}\lambda \gg \lambda^2$  та  $R_{p.\text{под}} \gg R_d$  і підставляючи (2) в (1) отримаємо:

$$l_k = 2\sqrt{D_{p.\text{под}}\alpha\sqrt{P/\nu D_d}} \quad (3)$$

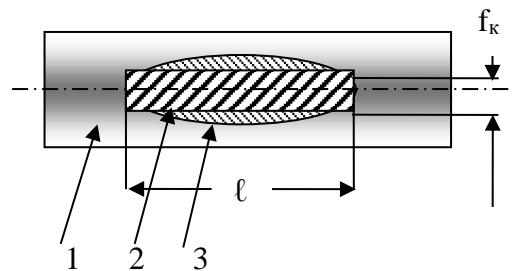


Рис. 1 – Реальний слід ролика:  
1 – дріт; 2 – замінна площа; 3 – слід

Аналіз рівняння (3) показує, що довжина контактної майданчика більшою мірою залежить від діаметра ролика, ніж від зусилля притискання та діаметра дроту. Очевидно, що для підвищення тягових характеристик роликового механізму при мінімальній деформації дроту доцільно збільшувати діаметр подаючого ролика.

Деформації дроту, що супроводжується витратами енергії, призводить до необхідності збільшувати потужність електродвигуна пропорційно до виразу:

$$T_p = P \left( \frac{f_1 d + 2f_2}{D_{p.np}} + \frac{2f_2}{D_{p.nod}} \kappa_1 \kappa_2 \right), \quad (4)$$

де  $T_p$  – втрати у роликовому вузлі;

$D_{p.np}$  – діаметр притискного ролика;

$f_1, f_2$  – коефіцієнти тертя в підшипнику ролика та кочення ролика;

$d$  – середній діаметр підшипника;

$\kappa_1, \kappa_2$  – коефіцієнти, що враховують тип та точність виготовлення роликів.

Аналізуючи вираз (4), а також висновки, зроблені раніше, можна зробити висновок, що зі збільшенням діаметра подаючого ролика ці втрати знижуються, а ресурс роботи збільшується внаслідок подовження робочої поверхні ролика. Необхідне збільшення діаметра подаючого ролика здійснити неможливо. Причина – існуючий підхід у конструюванні механізмів подачі з роликівими рушіями, коли від діаметра ролика залежать швидкість подачі дроту і момент на валу електродвигуна.

Нами запропоновано новий підхід до проблеми конструювання роликового механізму подачі дроту, який передбачає поділ подаючого ролика на два основні функціональні об'єкти. Перший – як приводний ролик, встановлений на вихідному валу редуктора. Другий – у вигляді подаючого ролика, вільно встановленого на поверхні приводного ролика. Конструкція технічного рішення схематично представлена рис.2. На вихідному валу редуктора жорстко закріплений приводний ролик 1, виконаний у вигляді шестерні. На приводному роликів вільно встановлений подаючий ролик 2, який також виконаний у вигляді шестерні, але з внутрішнім зубчастим зачепленням, яке входить в зачеплення з зубами ролика 1. Притискний ролик 3 здійснює притискання дроту 4 до подаючого ролика. При обертанні приводного ролика, момент обертання з цього ролика через зубчасте зачеплення передається подаючому роликів, який, будучи затиснутим між притискним роликів і дротом, здійснює переміщення дроту. Осі обертання подаючого і приводного роликів не збігаються і не пов'язані, що й відрізняє запропонований механізм від традиційно використовуваних з жорсткими прив'язками всіх осей обертання.

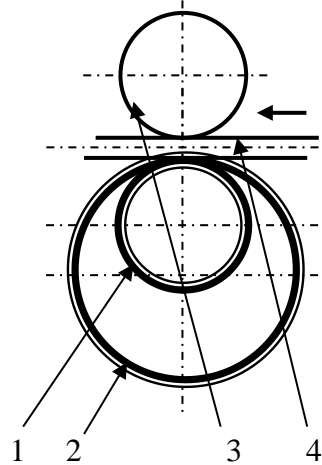


Рис. 2 – Схема подачі дроту зі вільним роликів:

1 – приводний ролик,

2 – подаючий ролик,

3 – притискний ролик, 4 – дріт

Швидкість подачі дроту в аналізованому механізмі визначається частотою обертання і діаметром приводного ролика-шестерні 1 і не залежить від діаметра подаючого ролика 2. Частота обертання подаючого ролика  $n_{p.nod}$  залежить від співвідношення діаметрів подаючого ролика  $D_{p.nod}$  і приводного  $D_{p.npiv}$  роликів і визначається у вигляді:

$$n_{p.nod} = n_{p.npiv} D_{p.np} / D_{p.nod} , \quad (5)$$

де  $n_{p.npiv}$  – частота обертання приводного ролика.

Змінюючи діаметр подачі в новій конструкції, момент опору подачі залишається постійним і мінімальним.

Це рішення є найбільш ефективним вузлом для імпульсних механізмів подачі, де діють значні прискорення імпульсу та необхідна надійна передача зусиль від ролика до дроту.

Було зроблено та проатестовано кілька варіантів дизайну з вільними роликами для подачі. Один із варіантів пари приводних та затискаючих роликів з внутрішнім зачепленням та діаметром  $D_{p. прив} = \varnothing 24$  мм,  $D_{p. под} = \varnothing 78$  мм, було встановлено в напівавтоматі ПШ107В для подачі порошкових та алюмінієвих дротів.

На фотографії (рис. 3) представлений варіант механізму подачі ролика  $\varnothing 100$  мм, вільно встановленим подачею, який вже

використовувався в механізмах подачі порошкових та алюмінієвих електродних дротів з їх мінімальною деформацією в роликівому вузлі. У цьому випадку високі тягові характеристики механізму забезпечуються через більш раціональне використання сил тертя

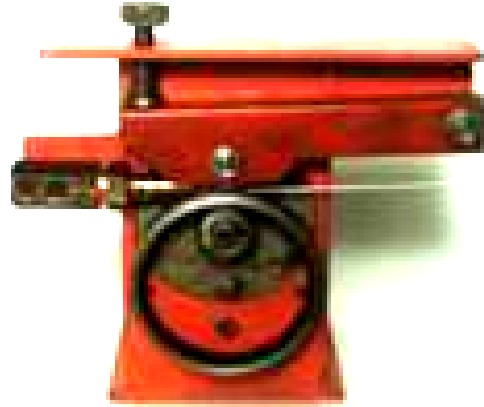


Рис.3 – Варіант механізму подачі з вільно встановленим подавальним роликом, що має внутрішнє зчеплення

УДК621.791.03

Лебедєв В. О., докт. техн. наук, професор  
Срмолаєв Г. В., канд. техн. наук, професор  
Лой С. А, старший викладач

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, valpaton@ukr.net

### ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ НА САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ В $CO_2$

Виділення зварювальних аерозолів (ЗА) та шкідливих для людини парів металу є невід'ємною частиною дугового процесу зварювання/наплавлення. На сьогоднішній день це питання вирішують шляхом розробки та оснащення робочого місця зварювальника місцевою витяжною вентиляцією. Все це додатково ускладнює та підвищує вартість зварювального обладнання, тому актуальними є цілеспрямовані дослідження з вивчення впливу технологічних параметрів режимів зварювання та наплавлення на обсяги виділення зварювальних аерозолів (ЗА), у тому числі й їх шкідливих складових [1].

Технології зварювання та наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту (ШЕД) дозволяють знизити вплив ЗА на зварювальника та навколишнє середовище.

Для визначення гігієнічних показників викидів були виконані порівняльні дослідження інтенсивності виділення ЗА для звичайного процесу та процесу з ШЕД.

Дослідження проводилися з використанням суцільного високолегованого електродного дроту Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЕП-690) діаметром 1,2 мм. При його використанні при зварюванні або наплавленні в дузі зворотної полярності виділяються ЗА, що містять Cr (зокрема найбільш небезпечний шестивалентний  $Cr^{6+}$  [210]), Ni, Mn, та інші компоненти. Досліджувалась залежність інтенсивності утворення СА та їх основних токсичних компонентів від режиму ШЕП і, для порівняння, з безперервною подачею на режимі (220 А, 25...26 В). У цих дослідженнях частота ШЕП вибиралася 10, 30, 60 Гц; шпаруватість імпульсів - 1,25, 3 і 5 од.



Визначалися такі параметри як: інтенсивність утворення ЗА, вміст сполук легуючих елементів (Mn, Cr, Ni та ін) у ЗА, інтенсивність їх виділення (рис. 1). Контурні графіки рис. 1 побудовані з використанням методів регресійного аналізу за експериментальними даними уловлювання ЗА.

Порівняно з рештою режимів наплавлення з ШПЕП (рис. 1), максимальна інтенсивність виділення ( $Cr^{6+}$ ) відзначається для наплавлення з частотою  $f = 30...40$  Гц і шпаруватістю  $S = 1,1...1,5$ . Найбільш вигідним режимом, що забезпечує мінімальне виділення шестивалентного хрому (в 2 рази менше, ніж при наплавленні з постійною подачею дроту) є режим ШПЕД з частотою  $f = 10 ... 30$  Гц і шпаруватістю  $S = 3 ... 5$  од.

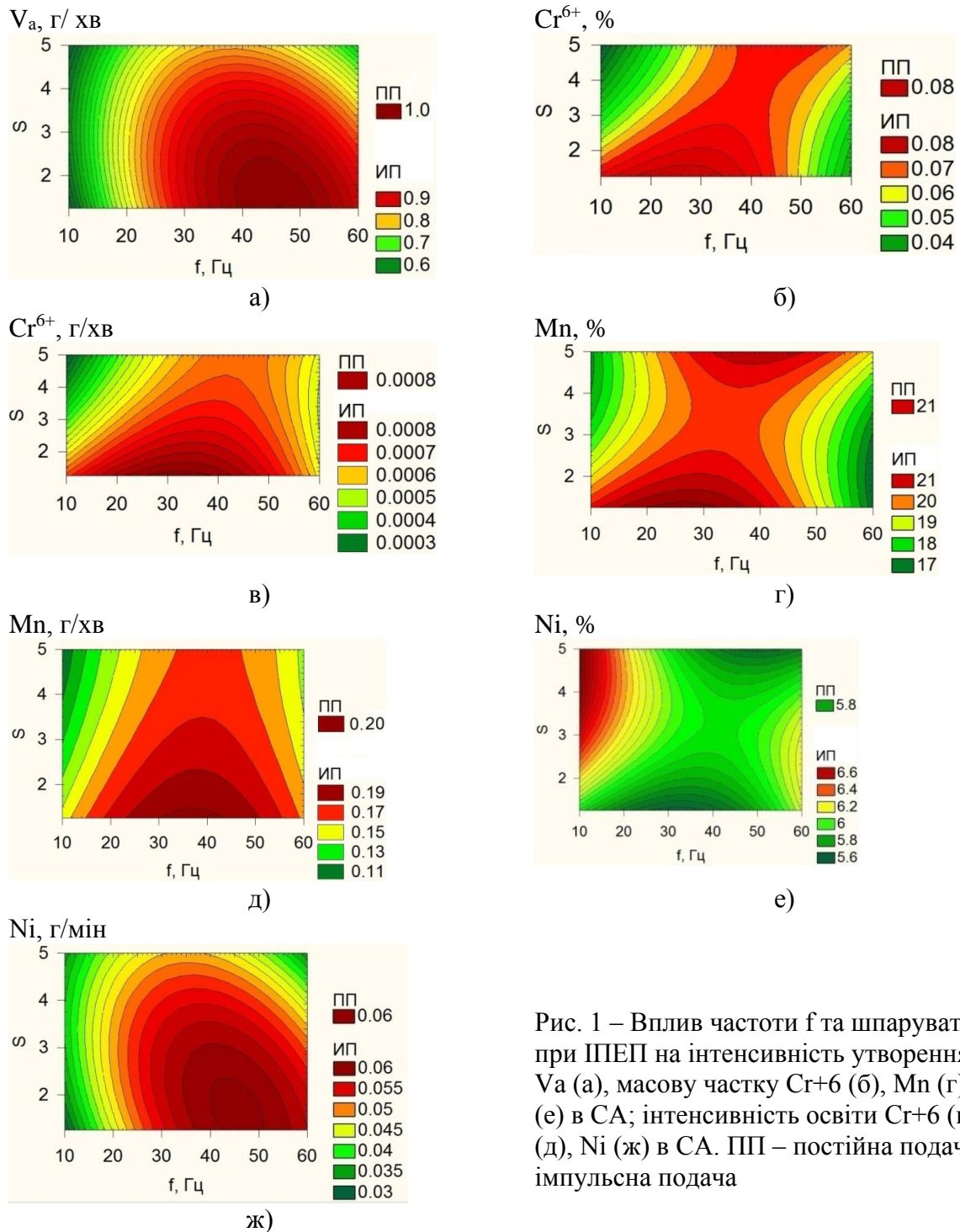


Рис. 1 – Вплив частоти  $f$  та шпаруватості  $S$  при ШПЕП на інтенсивність утворення СА  $V_a$  (а), масову частку  $Cr^{6+}$  (б), Mn (г), Ni (е) в СА; інтенсивність освіти  $Cr^{6+}$  (в), Mn (д), Ni (ж) в СА. ПП – постійна подача; ИП імпульсна подача

Що стосується нікелю - другого за величиною токсичності канцерогенного компонента ЗА, залежності на рис. 1 свідчать, що його мінімальний вміст в СА при наплавленні дротом ЕП 690 спостерігається на наступних режимах ППЕД:  $f = 40 \dots 50$  Гц і  $S = 4 \dots 5$  од.;  $f = 30 \dots 40$  Гц і  $S < 1,5$  од. Незначне збільшення масової частки Ni в СА на режимах із частотою  $f = 10 \dots 20$  Гц та шпаруватістю  $S = 3 \dots 5$  од. у 2 рази менше гранично допустимої концентрації (ГДК) і тому – не вважається критичним. Дослідження залежності інтенсивності виділення нікелю від режиму наплавлення з ППЕП (див. рис. 1-ж) показали, що вона мінімальна при  $f = 10 \dots 20$  Гц і  $S = 1,25 \dots 5$  од., а максимальна – при  $f = 30 \dots 60$  Гц та  $S = 1,25 \dots 3$  од.

Отримані результати доцільно враховувати під час вибору оптимального режиму зварювання. При цьому слід брати до уваги, що за величиною ГДК токсичність шестивалентного хрому в 5 разів вища за токсичність нікелю і багаторазово перевищує ГДК інших компонентів у складі ЗА.

Характер зміни даних на рис. 1 залежностей пояснюється тим, що при зварюванні з постійною подачею електродного дроту в захисному газі рівень виділень ЗА визначається не тільки потужністю дуги, а й характером перенесення електродного металу [2].

Зменшення загальної потужності дуги за рахунок пауз при застосуванні імпульсного струму знижує непотрібний надлишок енергії, що має місце при зварюванні безперервним струмом [3] і, зокрема, витрачається на випаровування матеріалів, що розплавляються. Інтенсивність утворення ЗА знижується зі зменшенням сили струму в імпульсі, паузі, а також при зниженні тривалості імпульсу або зі збільшенням тривалості паузи. Механізоване зварювання/наплавлення з імпульсним струмом дозволяє знизити інтенсивність виділення ЗА порівняно з традиційним механізованим дуговим зварюванням внаслідок зменшення кількості тепла, що виділяється в зоні зварювання.

З усього вище сказаного випливає, що наплавлення з ППЕД дозволяє покращувати гігієнічні характеристики процесу в  $\text{CO}_2$  порівняно з наплавленням з безперервною подачею і певною мірою керувати ними. Проведені дослідження показали, що поліпшення гігієнічних характеристик і управління кількістю виділення СА і обсягами шкідливих парів, що виділяються, в ньому можливе при відповідному налаштуванні параметрів ППЕД і всього комплексу зварювального/наплавного обладнання.

Сформульовані технологічні рекомендації щодо поліпшення санітарно-гігієнічної обстановки у зоні горіння дуги зворотної полярності у вуглекислому газі рекомендується враховувати під час виборів режимів зварювання/наплавлення з ППЕД.

#### Список посилань

1. Левченко О.Г. Гігієна праці у зварювальному виробництві. / О.Г. Левченко.– Навчальний посібник. – К.: Основа, 2004. – 98 с.
2. Левченко О. Г. Образование аэрозолей при сварке в  $\text{CO}_2$  модулированным током / О.Г. Левченко // Автоматическая сварка. – 2000. – № 8. – С. 48–50.
3. Harvey R. Castner. Gas Metal Arc Welding Using Pulsed Fume Generation Current. WELDING RESEARCH SUPPLEMENT. – 1995. – № 2. – p. 59-68.

УДК 621.311.22.658.5.011.56

**Лебедєв В. О., докт. техн. наук, професор**

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, valpaton@ukr.net

### **МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ З ІМПУЛЬСНОЮ ПОДАЧЕЮ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ**

Нагадаємо, що нейромережа моделює функціональну залежність між вхідним вектором параметрів (залежних змінних) та вихідним вектором (незалежних змінних). Для побудови нейромережевої моделі на першому етапі необхідно визначити безліч входів і виходів нейромережі. Тут можна вирішувати пряме чи зворотнє завдання.

Прямою задачею для електродугового зварювання з імпульсною подачею електродного дроту є пошук геометричних (або інших) характеристик шва в залежності від заданих параметрів, що визначають процес зварювання (шпаруватість і частоту імпульсів, швидкість подачі та ін.). Зворотним завданням є визначення технологічних параметрів процесу заданих характеристик шва.

Параметри управління процесом:  $S$  – шпаруватість імпульсу;  $f$  – частота імпульсів, Гц;  $V_{\text{імп}}$  – швидкість подачі в імпульсі, м / год.

Геометричні характеристики наплавлених валиків:  $a$  – висота шва, мм;  $b$  – ширина шва, мм;  $h$  – глибина проплавлення, мм;  $S_{\text{зТВ}}$  – площа зони термічного впливу, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{в}}$  – площа поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>.

Для оцінки якості одержуваного шва доцільно до параметрів моделі додати показник розбризкування металу у вигляді лінгвістичної змінної з 5 значень  $R$ : "дуже сильне", "сильне", "задовільне", "незначне", "відсутнє". При необхідності градацію можна розширити або звузити.

Далі для прикладу описано подальші дії. Проводяться експерименти із занесенням результатів в відповідну графу таблиці прикладів, фрагмент якої представлений нижче.

Таблиця 1 – Результати експериментів

Входи			Виходи						№ експерименту
$S$	$f$	$V_{\text{імп}}$	$a$	$b$	$h$	$S_{\text{зТВ}}$	$S_{\text{в}}$	$R$	
1	1	180	2,3	7,7	1,5	15,8	16,1	сильне	1
3	20	360	1,4	5,7	0,9	7,4	8,1	задовільне	2
-----									
1,5	50	360	2,7	9,7	2,4	28,8	26,4	задовільне	15
1,5	60	360	2,7	9,4	2,3	29,1	25,2	незначне	16

Побудова таблиці прикладів необхідна для навчання нейромережі.

На наступному етапі потрібно визначити діапазони змін параметрів та крок сітки координатного простору. Враховуючи, що в наявних експериментальних даних координатна сітка краще заповнена для прямого завдання, на першому етапі вирішуватимемо її. Це означає, що входами нейромережі є параметри процесу, а виходом є характеристики шва або валика. У наявних експериментальних даних параметр шпаруватості імпульсу змінюється в діапазоні від 1 до 3 з кроком 0,5. Частота імпульсів змінюється в діапазоні від 20 Гц до 60 Гц з кроком 10 Гц. Швидкість подачі незмінна для дослідів зі шпаруватістю відмінною від одиниці. Таким чином, основний вплив на результат чинять параметри, що змінюються: шпаруватість і частота. Можна говорити, що наявні експериментальні дані для параметрів  $S$  і  $f$  досить добре заповнюють координатну сітку, однак параметр «швидкість подачі в імпульсі» не варіюється і, як наслідок, немає прикладів його впливу на результат. Є пропущені значення координатної сітки – немає даних для шпаруватості 2,5. Однак, нейромережева модель не вимагає повністю заповненої координатної сітки та здатна якісно навчитися на даних, що мають велику кількість пропусків вузлів сітки. При цьому за допомогою навченої нейромережі можна заповнити прогалини даних всередині діапазону їх зміни (апроксимація). Існує також можливість спрогнозувати значення функції (виходів) поза діапазоном зміни залежних параметрів (входів, інтерполяція). Розв'язання задачі інтерполяції зменшить точність моделі, оскільки розширення діапазону зміни параметрів призведе до меншої частоти заповнення координатної сітки навчальної вибірки. Однак це дасть ширші можливості застосування моделі. Визначимо діапазон зміни параметра від 1 до 5, параметра  $f$  від 10 до 100 Гц. Розширення діапазону зміни  $V_{\text{імп}}$  не дасть прийнятних результатів, оскільки для цього недостатньо даних. Слід зазначити, що наявність навчальних прикладів на краях нового діапазону (для  $S=1, f=10$  Гц;  $S=5, f=100$  Гц) значно збільшило б точність моделі.

Побудовано неймережу, яка для будь-якого вектора залежних змінних із діапазону зміни визначає значення незалежних змінних. Для побудови моделі використовувалася штучна нейронна мережа типу "багатошаровий перцептрон", яка має здатність інтерполяції. Мережа складалася з 3-х нейронів на вході, 6-ти нейронів на виході та 1 прихованого шару з 3-ма нейронами. Усі нейрони мали передатну функцію гіперболічного тангенсу. Значення входів та виходів нормувалися в діапазон [0...1]. В результаті побудована неймережа, яка для навчальної множини дає результати, які фрагментарно представлені в табл. 2. Неймережева модель реалізує наближену модель процесу та описує експериментальні дані з деякою похибкою.

Таблиця 2 – Результати на навчальній вибірці

Входи			Виходи					
S	f	V <sub>імп</sub>	a	b	h	S <sub>зтв</sub>	S <sub>в</sub>	R
1	1	180	2,16	7,74	1,62	14,97	16,32	<i>сильне</i>
3	20	360	1,51	6,15	0,87	6,72	8,43	<i>задовільне</i>
=====								
1,5	50	360	2,60	9,53	2,51	27,56	25,13	<i>задовільне</i>
1,5	60	360	2,62	9,67	2,56	28,30	25,70	<i>незначне</i>

Неймережева модель дозволяє визначити значення параметрів шва для пропущених вузлів сітки (S=2,5), а також прогнозувати значення залежно, що моделюється поза діапазоном експериментальних даних. Для цього також будується таблиця з результатами інтерполяції та апроксимації неймережею.

Отримані результати можна представити як функції кожного з параметрів шва, як залежність від двох параметрів (шпаруватості і частоти імпульсу), при цьому третій параметр (швидкість подачі) фіксований. Поверхні відгуку відповідних функцій представляються в графічних зображеннях, одне з яких в наведено на рис. 1.

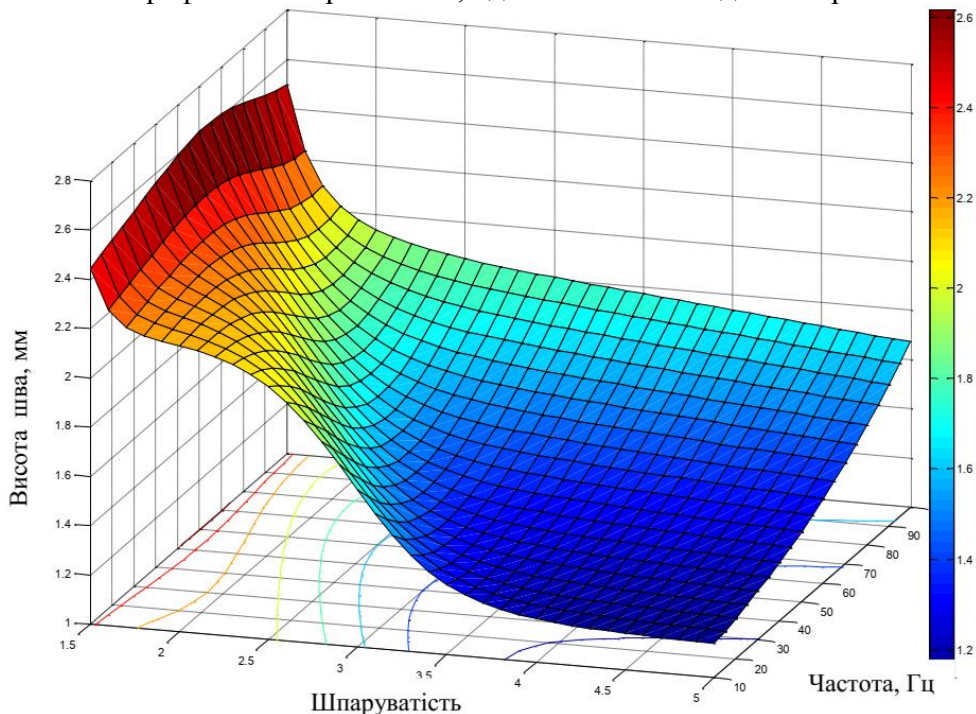


Рис. 1 – Залежність висоти шва від шпаруватості та частоти процесу зварювання з імпульсною подачею електродного дроту

Такі неймережеві моделі мають практичний результат при виборі параметрів імпульсного руху електродного дроту для отримання швів певного призначення

УДК 621.791

Фик С. В. аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», sviatoslav.v.fyk@lpnu.ua

## **ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ЗВАРЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ ВАЛІВ У ВИРОБНИЦТВІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ**

Подрібнювальні вали є важливим елементом універсального промислового обладнання для переробки відходів. Вони забезпечують ефективну сегментацію та гомогенізацію різних матеріалів. Процес подрібнення грає ключову роль у зменшенні об'єму відходів і підготовці їх для наступних етапів обробки.

Промислові подрібнювачі зазвичай мають один або два горизонтальних вали з ножами різної конфігурації. Кожен вал оснащений ножами зі спеціальним геометричним профілем, призначеними для ефективного подрібнення різних матеріалів.

Для поліпшення характеристик та показників подрібнювальних валів розроблено новий спосіб виготовлення, що включає в себе лиття готових елементів з подальшим зварюванням на спеціально виготовленому устаткуванні. Це дозволяє підвищити ефективність та зносостійкість валів.

Сучасні подрібнювальні вали виготовляються з різних матеріалів, зокрема профільних заготовок та легованих марок сталі, таких як HARDOX 450, HARDOX 500, Creusabro 8000 тощо, для досягнення оптимальних параметрів міцності та довговічності.

Аналіз існуючих технологій зварювання показує значні обмеження. Більшість виробників використовує ручне зварювання композитних елементів валів, що може призводити до недостатньої якості через вплив суб'єктивних чинників. Експлуатація таких валів викликає проблеми зі зношуванням та потребує великих трудових витрат для виробництва і обслуговування.

Дослідження використовує різні методи для оптимізації підбору інструментального матеріалу для ножів та лез в складі валів. Перед застосуванням ливарних елементів з високоміцної сталі, були виявлені проблеми з появою тріщин під час зварювання. Це стимулювало ретельний підбір складу сталі та вдосконалення методів її зварювання.

Головний акцент дослідження зосереджено на термічній обробці перед та після зварювання. Це включає визначення оптимальних параметрів, таких як послідовність накладання зварних швів та температура обробки. Цей підхід є ключовим у досягненні високих стандартів якості виготовлення валів.

Отримані дані з оптимізації матеріалу та технології зварювання представлені у вигляді порівняльних таблиць та діаграм, що відображають ефективність нового підходу порівняно зі стандартними методами. Ретельний аналіз цих результатів дозволяє визначити переваги запропонованого вдосконалення. Суттєве покращення спостерігається в універсалізації інструментів, тобто здатності ефективно подрібнювати різноманітні матеріали, а також у можливості значного скорочення виробничих потужностей для виготовлення нового інструменту.

Аналізуючи можливі проблеми та подальші перспективи дослідження, виділяється необхідність подальшого покращення зносостійкості та довговічності подрібнювального інструменту. Зменшення вартості виробництва та підвищення конкурентоспроможності також є ключовими аспектами для подальшого розвитку такої технології.

У підсумку дослідження виявлено, що оптимізація матеріалу та технології зварювання подрібнювальних валів суттєво покращує їхню техніко-економічну ефективність та знижує виробничі витрати. Зазначається потреба в подальших дослідженнях для поліпшення зносостійкості та зменшення вартості, сприяючи інноваціям у промисловому виробництві.

УДК 620.178.169

Томіна А.-М.В., канд. техн. наук, доцент  
Єрьоміна К.А., канд. техн. наук, доцент  
Єрьоменко О.В., здобувач наукового ступеня  
Чешенко Є.Д., бакалавр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, an.mtomina@gmail.com

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГРАФІТОПЛАСТУ

Відомо [1], що використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), натомість металів і сплавів, підвищує робочий ресурс вузла тертя в 5-10 разів (залежно від умов роботи), проте ПКМ є універсальними матеріалами і можуть використовуватись лише для визначених умов експлуатації. Вузол тертя є важливим елементом обладнання сільськогосподарської, гірничорудної та автомобільної техніки, який забезпечує їх безвідмовну та довгострокову експлуатацію, тому пошук нових складів ПКМ є актуальним. Однак при створенні нових складів ПКМ для вузлів тертя важко спрогнозувати їх ефективну роботу в екстремальних умовах: підвищених швидкостях ковзання та навантаженнях. Для цього необхідно здійснити комплекс натурних і стендових досліджень виробів з ПКМ, які в свою чергу потребують багато часу і значних фінансових витрат. У зв'язку з цим багато вітчизняних і закордонних дослідників у галузі матеріалознавства використовують математичні моделі, щоб спростити шлях вирішення поставленої задачі. У даній роботі математичні моделі використані для визначення експлуатаційної динаміки вузла тертя у сучасній техніці.

Для створення ПКМ був обраний креполіорганосилоксан, як полімерна матриця, який у своїх молекулах включає атоми кремнію (Si), разом із органічними радикалами та угрупованнями. Даний полімерний матеріал характеризується високою стійкістю до впливу слабких кислот і лугів, підвищених і низьких температур. Як наповнювач обрали прихованокристалічний ливарний графіт у кількості 50 мас.%, який характеризується високою самозмащувальною здатністю. Приготування ПКМ здійснювали за методикою наведеною у роботі [2]. Трибологічні властивості (інтенсивність лінійного зношування і коефіцієнт тертя) розробленого ПКМ визначали на машині тертя СМЦ-2 в умовах тертя без змащення за схемою «диск-колодка». Навантаження ( $P$ ) та швидкість ковзання ( $v$ ) варіювалися від 0,5 до 1,5 МПа і від 1 до 2 м/с відповідно. Контртілом обрано сталь 45 (45-48 НРС,  $R_a=0,32$  мкм). Із використанням ортогонального композиційного планування другого порядку ступеня  $3^2$ , методика якого наведена у [3], були отримані математичні моделі, що прогнозують трибологічні властивості розробленого ПКМ від швидкості ковзання та навантаження.

$$I_h = (-4,40 v^2 - 9,88 P^2 - 18,48 P \cdot v + 32,76 v + 54,68 P + 14,98)^{-10},$$
$$f = -0,16 v^2 + 0,16 P^2 + 0,40 P \cdot v - 0,08 v - 1,22 P + 1,31.$$

Отримані математичні моделі дозволяють не лише аналізувати вплив окремих параметрів на зношування та тертя деталей виготовлених з розробленого ПКМ, а й прогнозують їхню довговічність при роботі у вузлах тертя сучасної сільськогосподарської, гірничорудної та автомобільної техніки за різних значень навантажень та швидкостей ковзання.

### Список посилань

1. Полімерні композити на основі термопластичних в'язучих / Буря О.І., та ін. – Дніпро: Середняк Т.К., 2019. – 239 с.
2. Єрьоменко О.В., Томіна А.-М.В. Вплив дискретного базальтового волокна на зносостійкість кремнійорганічного полімеру // Хімічні проблеми сьогодення (ХПС-2023): збірник тез доповідей VI Міжнародної (XVI Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених, 21–23 березня 2023 р., м. Вінниця. – С. 119.

3. Yeromenko O.V. Supply of operation modes on tribological power to basaltoplastics based on polytetrafluoroethylene / O.V. Yeromenko, Ye.A. Yeriomina, A.-M.V. Tomina // Mathematical Modeling. – 2023. – №1(49). – P. 48–55.

УДК 620.22:629.5

**Казимиренко Ю. О., докт. техн. наук, професор**  
**Лебедева Н. Ю., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,  
 yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua

### **ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ СУДНОБУДУВАННЯ ТА СУДНОРЕМОНТУ**

Повоєнне відновлення в Україні суднобудівної галузі є важливою стратегічною задачею, вирішення якої вимагатиме комплексного підходу з впровадженням наукових здобутків, які забезпечуватимуть проектний і технологічний потенціал. Матеріалознавство поєднує у собі міждисциплінарні фундаментальні дослідження та інженерні розробки, за допомогою яких розв'язуються більшість проблемних питань в області суднобудування та судноремонту.

**Метою досліджень** є ґрунтовний аналіз матеріалознавчих завдань, вирішення яких спрямовано на створення об'єктів морського і річного транспорту.

Систематизацію та узагальнення науково-практичної інформації виконано за допомогою системних методів в аналітиці [1] з визначенням критеріїв, які ґрунтуються на принципах європейського стратегічного планування економічного розвитку та повоєнного відновлення України [2]. Інформаційну базу для досліджень становлять наукові публікації зарубіжних і вітчизняних вчених, зокрема Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, які розташовані у електронному інституційному репозитарії наукової бібліотеки [URL: <http://www.eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/587>] та власний досвід авторів, викладений в роботах [3-5]. Аналіз сучасної ситуації показав неможливість розгляду процесу відновлення суднобудівної галузі за традиційними показниками техніко-економічної ефективності [6]. В табл. 1 стисло охарактеризовано процес інтеграції матеріалознавчих розробок у суднобудування та судноремонт.

Таблиця 1 – Інтеграція матеріалознавчих розробок у суднобудування та судноремонт [складено авторами]

Характеристика матеріалознавчих розробок	Сфери інтеграції у суднобудування та судноремонт
Розробка матеріалів плавучості, композиційних матеріалів і покриттів з комплексно-захисними властивостями	Побудова позасуднових плавучих засобів для збирання небезпечних предметів з річкових акваторій
Синтез нових складів гідроізоляційних і хімічно стійких лакофарбових покриттів	Технології відновлення танків (цистерн), надводної частини суден, машинного відділення, трюмів тощо
Розробка теплоізоляційних матеріалів з волокнистою та комірчастою структурою	Модернізація суден-продуктовозів та суден для вантажів зі спеціальними температурними умовами
Підвищення функціональних властивостей конструкційних матеріалів шляхом додаткової обробки з нанесенням покриттів	Проектування і ремонт суднових механізмів
Часткова заміна металевих сплавів на неметалеві, зокрема композиційні матеріали	Побудова плавучих споруд для збирання сміття з морських та річкових акваторій

За допомогою SWOT-аналізу надана комплексна оцінка ситуації (табл. 2)

Таблиця 2 – SWOT-аналіз ситуації інтеграції матеріалознавчих розробок у суднобудування та судноремонт [складено авторами]

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weakness)
1. Відновлення морського і річкового флоту України 2. Наявність висококваліфікованих кадрів 3. Стимулювання розвитку логістики та інноваційних екосистем	1. Зруйновані виробничі потужності 2. Дефіцит робочої сили 3. Дефіцит сировинних матеріалів
Можливості розвитку (Opportunities)	Загрози (Threats)
1. Можливість побудови нових видів суден 2. Відновлення виробничих потужностей 3. Розвиток нових виробничих технологій та підготовка фахівців нового покоління	1. Зростання цін на енергоносії та вихідну продукцію 2. Прибутковість розроблених технологій

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою відповідних стартапів.

**Висновки:** Надано характеристику сферам інтеграції матеріалознавчих розробок у проєктні і технологічні задачі суднобудування і судноремонту; за допомогою SWOT-аналізу надано комплексну оцінку ситуації.

#### Список посилань

1. Варенко, В. М. Системні методи в аналітиці: практика і проблеми вибору [Текст] / В. М. Варенко // Бібліотекознавство. Документознавство. Інформологія. – 2022. – № 1. – С. 48-51.
2. Кушніренко, О. М. Імплементация европейских принципов в стратегическом планировании повоенного восстановления Украины [електронне видання] / О. М. Кушніренко, Н. Г. Гахович // Науковий вісник міжнародної асоціації науковців. Серія: економіка, управління, безпека, технології. – 2023. – Том 2. – № 2: URL: [www.man.org.ua](http://www.man.org.ua)
3. Kazymyrenko, Yu. O. Increasing the Damping Capability of Titanium Alloys by Deposition of Plasma Coatings Made from Titanium Nickelide [Text] / Yu. O. Kazymyrenko., N. Yu. Lebedeva, T. O. Makrukha // *Metallophysics and Advanced Technologies*. – 2023. – Vol. 45. – № 4. – Pp. 457-467
4. Kazymyrenko, Yu. Glass microspheres thermo-deformation sintering processes in the technologies of obtaining materials for underwater technical equipment [Text] / Yu. Kazymyrenko, N. Solomoniuk, O. Drozd // *POLISH MARITIME RESEARCH*. – 2023. – № 3 (119). – Vol. 30. – Pp. 174-180.
5. Казимиренко, Ю. О. Наукові основи проєктування і підвищення захисту метал-скляними матеріалами елементів суден для радіоактивних вантажів [Текст]: дисертація на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук за спеціальностями: 05.08.03 – конструювання і будування суден і 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова: URL: <https://eir.nuos.edu.ua/items/a9e2da2d-40b9-4a24-b8f5-ca369aa5c416>
6. Приходько, Н. М. Математичні моделі для оцінювання трудомісткості розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного протиріччя Джонсона [Текст] / Н.В. Приходько, О.О. Кудін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Том 30 (69). – № 4. – С. 106-111.



УДК 539.375.5:621.793.74

Копилов В.І., докт. техн. наук, професор

Кузін О.А., докт. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»

Кузін М.О., докт. техн. наук, професор

Національний університет «Львівська політехніка»,

Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, kuzin.nick81@gmail.com

## ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЩОДО ПРОЦЕСІВ РОЗТРІСКУВАННЯ ТА ВІДШАРУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

При розробці сучасних покриттів, сформованих зокрема плазмовим напиленням, важливим є моделювання їх можливого руйнування при навантаженні. Одним із основних параметрів, що визначає експлуатаційні властивості композитного матеріалу, є його тріщиностійкість [1, 2]. В якості вихідних матеріалів для напилення застосовують металеві і метало-керамічні порошкові суміші, що містять, у тому числі, нанорозмірні або ультрадисперсні фази. Наявність наноскладових призводить до значного підвищення фізико-механічних властивостей композитного матеріалу в цілому, що обумовлено зміною складу та структури покриття [1, 3]. Мікроструктура покриттів, сформованих таким способом, характеризується наявністю складної мережі пір, різним ступенем когезійної взаємодії між окремими частинками (ламельами), а також адгезійною (міжфазною) міцністю [4]. При навантаженні системи «основа – покриття» дефектна структура покриттів приводить до виникненню різних типів тріщин, насамперед тріщин розтріскування і тріщин відшарування (по міжфазній зоні).

При розгляді тріщиностійкості доцільно дослідити енергетичні витрати при руйнуванні сформованої міжфазної зони в умовах деформації і послідовним за цим процесом розтріскування і відшарування покриття. Визначення коефіцієнтів тріщиностійкості  $K_{Ic}$ , а також інтенсивності вивільненої енергії  $G_{Ic}$  засноване на розгляді балансу енергій у момент виникнення тріщини у різних ділянках системи основа-покриття.

Використовується певний алгоритм дій. Тріщиностійкість досліджувалась при випробуванні на згин зразків із маловуглецевої сталі з покриттями, нанесеними плазмовим напиленням. Далі розрахунково-експериментальним способом визначаються нормальне напруження в основі  $\sigma_o$ , напруження в покритті  $\sigma_n$ , модулі пружності покриття  $E_n$  і основи  $E_o$ , залишкова деформація покриття  $\varepsilon$ . Досліджувалися механічні суміші  $ZrO_2 + NiAl$  (у відношенні 1:1, 2:1, 1:2);  $NiCr + ZrO_2$  (у відношенні 1:1). Такі покриття використовують в якості жароміцних. Крім того, проведені випробування з покриттями, що містять наноскладові, зокрема, алюмоаеросил  $Alal - (Al_2O_3 \cdot SiO_2)$ . Використовувались  $(NiAl+Alal)$  і  $(NiCr+Alal)$  порошкові механічні суміші  $NiAl (70\%) - (Al_2O_3 \cdot SiO_2) (30\%)$ , а також  $NiCr(70\%) - (Al_2O_3 \cdot SiO_2) (30\%)$ .

Інтенсивність вивільненої енергії системи при розтріскуванні дорівнює відношенню витраченої на цей процес енергії  $\Delta U$  до товщини  $h$  покриття, а саме  $G = \Delta U / h$  [1, 2].

Зокрема для нашого випадку інтенсивність вивільненої енергії при розтріскуванні покриття дорівнює:

$$G = \frac{\sigma_{cr}^2 \cdot h}{E_n} \left[ \frac{\sigma_{cr}}{3\tau_y} + \pi F(Z) \right] \quad (1)$$

де  $G_{Ic}$  – робота, яку необхідно здійснити для ініціювання розповсюдження тріщини;

$h$  – товщина покриття;

$E_n$ , – модуль пружності покриття;

$F(Z)$  – табульована функція;

$Z$  – співвідношення модуля пружності покриття до модуля пружності основи;

$\tau_y$  – границя текучості основи при зсуві [1, 2].

У зв'язку з тим, що в покритті існує залишкове напруження  $\sigma_r$ , то тріщина в покритті виникає при критичній нарузі:  $\sigma_{cr} = \sigma_c + \sigma_r$ , де  $\sigma$  і  $\sigma_r$  – прикладене і залишкове напруження (визначаються експериментально).

У деяких системах утворення тріщин в покритті може супроводжуватися відшаровуванням по поверхні розділу «основа-покриття» (утворюється міжфазна тріщина). Така поведінка при руйнуванні покриття спостерігається, коли опір розриву поверхні розділу відносно низький і основа має високу межу текучості.

А. Можливе відшарування, коли руйнування відбувається в поверхневих шарах основи, тоді  $K_{IC} = \sqrt{GE_o}$ , де  $G$  – інтенсивність енергії, що звільнюється згідно рівнянню (1),  $E_o$  – модуль пружності основного матеріалу.

Б. Якщо міцність адгезійних зв'язків менша міцності зв'язків в основному матеріалі і в самому покритті, то маємо: для критичного значення коефіцієнта інтенсивності напруги покриття при його розтріскуванні маємо:

$$K_{IC} = \sqrt{G \cdot E_n}, \text{ при цьому } E_n = E_o \sigma_n / \sigma_o, \text{ тоді } K_{IC} = \sqrt{GE_o \cdot \sigma_n / \sigma_o}, \quad (2)$$

де  $\sigma_n$  і  $\sigma_o$  – напруження у покритті і основі.

Коли розглядається відшарування по границі розділу «основа – покриття», необхідно враховувати площу фізичного контакту  $F_\phi$ , по якій відбувається відшарування покриття. Припускається, що відносна площа контакту пропорційна відносній міцності зчеплення  $\bar{F}_\phi = \bar{\sigma}_{зч} = \sigma_\Pi / \sigma_o$ . Тоді коефіцієнт інтенсивності напружень буде мати вигляд:

$$K_{IC} = \sqrt{GE_o \bar{F}_\phi} \quad (3)$$

Насправді часто реалізується процес, у якому розтріскування покриття супроводжується одночасним його відшаруванням. У цьому випадку інтенсивність енергії  $G$ , що звільняється, витрачається, як на розтріскування, так і на відшарування покриття в певній пропорції в залежності від властивостей покриттів і отриманого композиційного матеріалу [1, 2]. Під впливом навантаження для покриттів різного складу характерний різний режим руйнування – адгезійний чи когезійний.

У деяких випадках когезійна руйнація може супроводжуватися розривом адгезійних зв'язків. Для стаціонарного стану сумарна енергія деформації і інтенсивність енергії, що вивільняється, як при розтріскуванні, так і при відшаруванні покриття представляється таким чином:

$$\Delta U = 2G_{mf}c + G_n h \quad ; \quad G = 2G_o \cdot c / h + G_\Pi \quad (4)$$

де  $G_n$  – критична швидкість вивільнення енергії при (розтріскуванні) деформації покриття;

$G_o$  – відповідна енергія в основі;

$c$  – половина довжини міжфазної тріщини;

$G_{mf}$  – інтенсивність виділення енергії при відшаруванні покриття (виникнення міжфазної тріщини).

Енергії в рівнянні (4) записуються як:

$$G_o = (K_{IC}^o)^2 / E \quad \text{та} \quad G_n = (K_{IC}^n)^2 / E_n \quad (5)$$

Після нескладних перетворень отримуємо вираз для обчислення коефіцієнта інтенсивності напружень в залежності від пружних властивостей взаємодіючих матеріалів і величини міжфазної тріщини, яке має вигляд:

$$K_{IC}^o = \sqrt{\frac{G}{c/2E_o + 1/E_n}} \quad (6)$$

Результати обчислень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахункові параметри тріщиностійкості системи «основа – покриття»

Матеріал покриття	G, Дж/м <sup>2</sup>	K <sub>IC</sub> , МПа· м <sup>1/2</sup>
NiAl	165	1,25
ZrO <sub>2</sub> +NiAl (2:1)	314	2,11
ZrO <sub>2</sub> +NiAl (1:1)	336	2,09
ZrO <sub>2</sub> +NiAl (1:2)	428	2,25
NiCr+ZrO <sub>2</sub> (1:1)	505	2,51
NiAl+Alal	786,53	6,83
NiCr+Alal	805,16	11,928

Таким чином, проаналізовано можливі основні типи руйнування плазмових покриттів на основі оксиду цирконію і аеросилів. Характер руйнування залежить від пружно-пластичних властивостей самої системи, а також, безумовно, від структури, фазового і хімічного складу покриттів.

Оптимальні композиції можливо реалізувати за умови встановлення взаємозв'язку між відповідними параметрами, що забезпечують формування певної макро- та мікроструктури, високий чи підвищений рівень когезійної міцності багатофазного покриття, а також необхідну адгезію його до поверхні основного матеріалу.

На величину когезійної міцності покриттів, а також величину адгезійної взаємодії покриття до основи впливають насамперед співвідношення модулів пружності основного матеріалу та другої фази, нерівноважний стан границь різних ділянок і елементів покриття усередині композиції, а також міжфазної границі.

Все це відображається на параметрах тріщиностійкості системи «основа – покриття».

Представлено методику оцінки тріщиностійкості та характеру руйнування композиції на базі розгляду енергетичного балансу системи в момент виникнення тріщини, розтріскування та відшарування багатофазного покриття.

#### Список посилань

1. Kopylov, V. I. Effect of multiphase structure of plasma coatings on their elastic and strength properties [Text] / V. I. Kopylov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 5/5 (83).– P. 49–57.
2. Hu M.S., Evans A.G. The cracking and decohesion of thin films on ductile substrates// Acta metall.-1989. -V.37, No 3.- P.917-925.Chang-Jiu Li, Wei-Ze Wang, Yong He. Dependency of fracture toughness of plasma sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings on lamellar structure // J. Thermal Spray Technology. – Vol 13. – № 3. – 2005. – p. 425-431.
3. Пат. 69338 Україна, МПК C23C4/10. Порошок для плазмового нанесення покриттів / Копилов В. І., Смирнов І. В., Чорний А. В., Антоненко Д. О.; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – 2011 12209; заявл. 18.10.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.
4. J. Ahn, B. Hwang, E. P. Song, S. Lee, N. J. Kim. Correlation of microstructure and wear resistance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> coatings plasma sprayed with nanopowders // Metall. Mater. Trans. – 2006. – Vol. 37A. – pp. 1851-1861.

УДК 621.791.01.6

Болотов М.Г., канд. техн. наук, доцент  
Болотов Г.П., докт. техн. наук, професор  
Руденок Я.О., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», [bolotovmg@gmail.com](mailto:bolotovmg@gmail.com)

## ПРОБЛЕМИ ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Відомо, що азотування сталей газорозрядною плазмою тліючого розряду дозволяє значно покращити твердість, зносостійкість та антикорозійні властивості їх поверхонь. При цьому, спосіб має ряд суттєвих переваг над конвенційним – газовим азотуванням, пов'язаних із відсутністю шкідливих викидів в атмосферу, енерго- та ресурсозбереженням, більш високою продуктивністю та ін.

Поряд із тим, відмічаються певні технологічні проблеми, що виникають при азотуванні сталевих деталей складної форми в тліючому розряді. Так, наприклад, наявність на поверхнях деталей, що обробляються виступів, щілин або інших поверхневих неоднорідностей може призводити до появи таких небажаних ефектів, як ефект порожнистого катоду (*hollow cathode effect*) [1] і, так званого, «крайового ефекту» (*edge effect*) [2]. Поява ефекту порожнистого катоду пов'язана із геометричними та емісійними характеристиками катодної поверхні. В роботі [3] зазначається, що наявність на катоді щілин і зазорів, розмір яких задовольняє співвідношенню  $2d_k \leq \Delta \leq 4d_k$  (де  $\Delta$  – величина зазору;  $d_k$  – ширина зони катодного падіння потенціалу), стає причиною видозмінення тліючого розряду на цій ділянці із формуванням ефекту порожнистого катоду. Останній призводить до неконтрольованого та нерівномірного нагрівання катоду із формуванням зон локального перегріву. В роботі [4] показано, що при тисках газу 1,33 – 13,3 кПа зазначена умова виконується при зазорах 0,01 – 1 мм, коли в порожнині або зазорі відбувається злиття негативних тліючих світиль протилежних стінок, що характеризують утворення порожнистого катоду. В умовах плазмового азотування такий ефект матиме місце якщо зазор на деталі виконано у вигляді V-подібного клину, як показано на рис. 1.

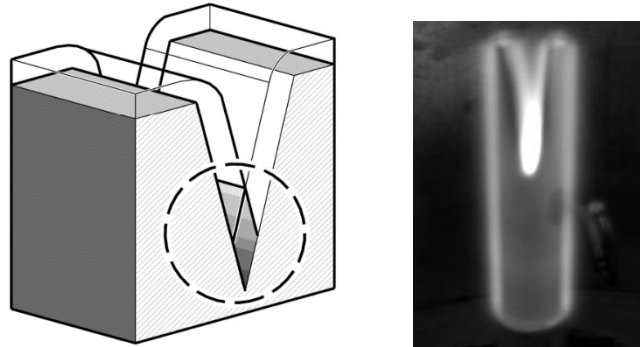


Рис. 1 – Схема утворення ефекту порожнистого катоду і, відповідно, його зовнішній вигляд у V-подібній клиновій щілині при плазмовому азотуванні [5]

Клинові V-подібні зазори на поверхнях оброблюваних деталей є найбільш небезпечними з точки зору появи ефекту порожнистого катоду, оскільки в них зазначена умова виконується при будь-яких тисках газу.

Інший фактор, що перешкоджає нормальній реалізації процесу плазмового азотування, пов'язано з виникненням «крайового ефекту», обумовленого нерівномірністю розподілу плазми тліючого розряду по поверхнях циліндричних зразків із локалізацією по краях деталей. Поява крайового ефекту призводить до формування неоднорідної поверхні азотування, що проявляється у вигляді концентричних кілець різного кольору на центральній і периферійній ділянках поверхні. Така неоднорідність обумовлена підвищеною дифузією азоту із утворенням сітки перенасиченого азотом розчину по границі

зразків в місцях більш щільної локалізації плазми. Причиною цього стає спотворення електричного поля по краях циліндричних зразків із формуванням каналів підвищеної провідності. Останнє призводить до зростання потоку іонів, що падають на катод на цих ділянках створюючи характерні кільця ерозії [2].

Досліджуючи вплив крайового ефекту на антикорозійні властивості плазмово-азотованої сталі *AISI 440B* в  $N_2:H_2$  газовій суміші із різним відсотковим співвідношенням, автори роботи [2] повідомляють про зменшення розмірів кілець ерозії зі зменшенням концентрації азоту в азот-водневій газовій суміші (рис. 2). Однак повністю уникнути небажаного ефекту, шляхом корегування відсоткового вмісту компонентів газу в реакторі, авторам не вдалося.

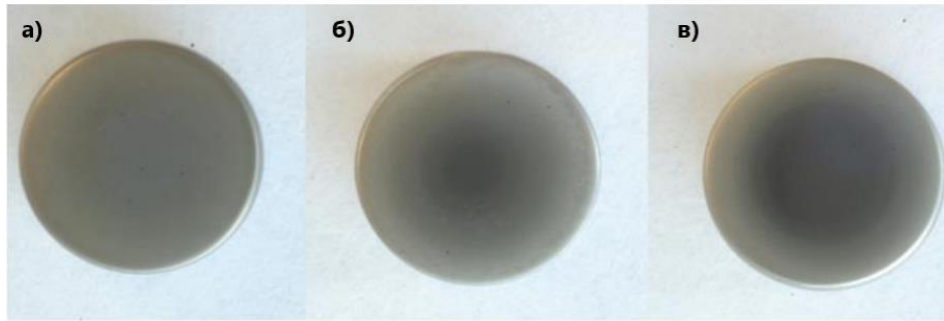


Рис. 2 – Зразки сталі *AISI 440B* азотовані в суміші газів: а) 50% $H_2$ :50% $N_2$ ; б) 35% $H_2$ :65% $N_2$ ; в) 20% $H_2$ :80% $N_2$  [2]

Дослідження антикорозійних властивостей таких зразків показали, що ділянки з яскраво вираженим крайовим ефектом поступово розчиняються внаслідок анодних реакцій, створюючи характерні ерозійні кільця (рис. 3).

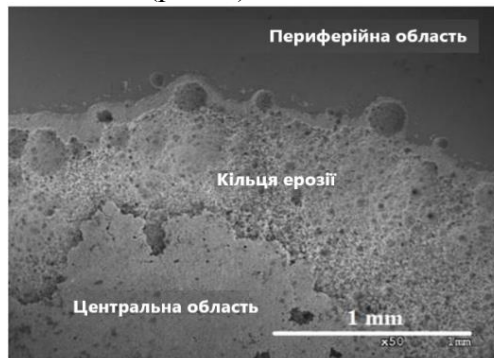


Рис. 3 – Вплив крайового ефекту на зразки сталі *AISI 440B* азотовані в плазмі аномального тліючого розряду (збільшення  $\times 50$ ) [2]

Таким чином, іонно-плазмове азотування в тліючому розряді є вельми ефективним способом поверхневої модифікації сталевих виробів. Однак, існує ряд технологічних факторів, що ускладнює нормальну реалізацію процесу із суттєвим пошкодженням поверхонь оброблюваних заготовок.

#### Список посилань

1. Болотов Г. П., Болотов М. Г. Дослідження стійкості тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах зварювання. Вісник ЧДТУ. 2008. № 36. С. 100–106.
2. M. Lepicka and G. Małgorzata, Effect of heat treatment and plasma nitriding on corrosion resistance of 440b martensitic stainless steel, *Acta Mechanica et Automatica*, 7, No. 3: 156 – 159 (2014).
3. M. G. Bolotov and G. P. Bolotov, "Criterial Definition of the Limits of Glow Discharge Energy Stability in Welding," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 497-501.
4. M. G. Bolotov and G. P. Bolotov, "Elimination of Electric Arc Stabilization in Precision Welding with High-Current DC Glow Discharge," *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 578-583.

5. Axinte M., Nejneru C., Perju M. at all, Research on hollow cathode effect and edge effect avoidance in plasma nitriding treatment, Tehnomus - New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, pp. 181-184.

УДК 538.95

Широкий Ю.В., канд. техн. наук, доцент

Торосян О.В., ст. викладач

Торосян-Жидєєва Г.Д., аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського ХАІ», м. Харків,

i.shyrokyi@khai.edu

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРА ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУР У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Для загальної перевірки моделі було визначено температурні поля в зоні дії лазерного випромінювання на сталі 20 (рис. 1. а) та сталі 50 (рис. 1. б), причому розглядався як процес нагрівання так і охолодження. Розрахунки проводили для щільностей теплового потоку і часу його дії, які близькі до необхідних для отримання наноструктур (500...2000 К), та при швидкості наростання температури, що перевищує 107 К/с. Так, на рис. 1 показані залежності максимальної температури в плямі  $r = 0,1$  мм при дії теплових потоків з піковими щільностями  $q_{1max} = 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup>,  $q_{2max} = 2 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup> та  $q_{3max} = 3 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup> з часом дії  $10^{-7}$  с на сталь 20 (рис.1, а) та сталь 50 (рис. 1, б).

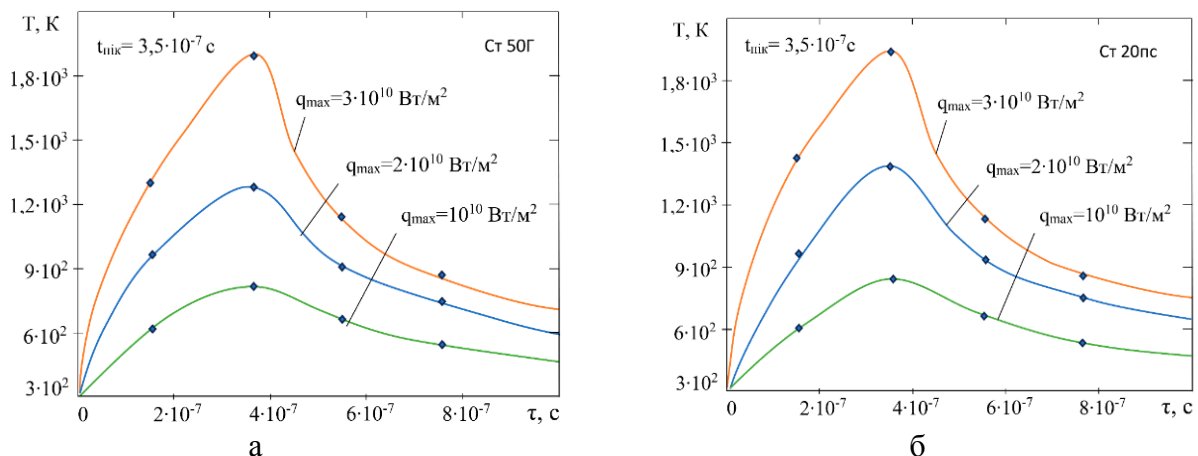


Рис. 1 – Розподіл температур на глибині 1 мкм під час дії лазерного випромінювання на сталь 20 – а та сталь 50 – б. Пікова густина теплового потоку, що діє в початковий момент часу  $3,5 \cdot 10^{-7}$  с

Також для визначення оптимальних технологічних параметрів лазерного випромінювання при отриманні наноструктур на основі проведених розрахунків температур і швидкостей їх наростання були побудовані залежності критичних щільностей теплових потоків  $q_{кр max}$  і  $q_{кр min}$  від часу їх дії, при яких утворюються наноструктури на сталі 40Х.

Зона технологічних параметрів, що забезпечує отримання наноструктур, обмежена прямими  $q_{кр max}$ ,  $q_{кр min}$ , зоною, де недостатня швидкість росту температури і зоною, де висока ймовірність термопружного руйнування. В роботі показано діапазон вибору де яких технологічних параметрів лазерного випромінювання, це щільності теплового потоку та час його дії, які забезпечують одержання наноструктур у поверхневому шарі.

УДК 538.95

Широкий Ю.В., канд. техн. наук, доцент  
Торосян О.В., ст. викладач  
Жидєєв П.Р., аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків,  
[o.tarasyan@khai.edu](mailto:o.tarasyan@khai.edu)

## ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЗОНІ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ОТРИМАННІ НАНОСТРУКТУР НА СТАЛЯХ

За уточненою тепловою моделлю визначено було отримано розподіли температур на глибині 1 мкм під час дії лазерного випромінювання на сталі з різним вмістом вуглецю (сталі 20, 38Х, 50 та У8) при різних пікових щільностях теплового потоку в поверхневому шарі.

Побудовано просторово-часову картину розподілу температур по радіусу плями і в часі при дії лазерного випромінювання з щільністю теплового потоку  $q=3 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>2</sup> при радіусі плями 0,1 мм (рис. 1).

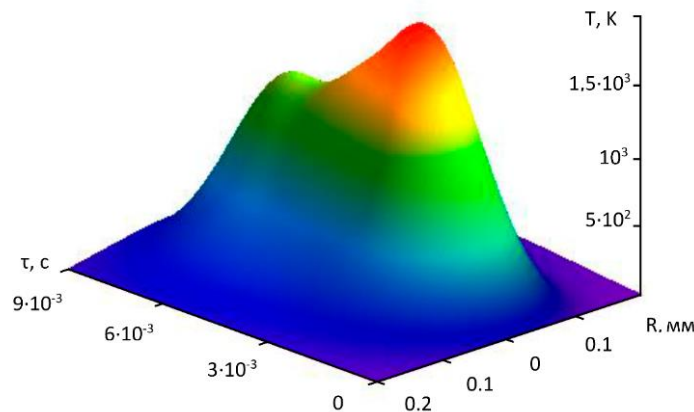


Рис. 1 – Просторово-часова картина розподілу температур по радіусу і в часі при дії лазерного випромінювання з щільністю теплового потоку  $q=3 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>2</sup> при радіусі плями 0,1 мм

Визначено зони утворення наноструктур залежно від щільності теплового потоку від часу дії лазерного випромінювання [1].

Проведені теоретичні дослідження показують, що необхідно враховувати швидкість наростання температури бо при їх перевищенні виникає ймовірність термопружного руйнування під дією температурних напружень. Також визначено, що при недостатніх швидкостях наростання температури при лазерній обробці у поверхневих шарах вуглецевих сталей буде утворюватися більше мікро-і суб-мікроструктур.

### Список посилань

1. Kostyuk, G. Prospects for producing nanostructures in the volume of parts under the action of plasma flows / G. Kostyuk, O. Melkozirova, E. Kostyuk, I. Shyrokyi/ Різання та інструменти в технологічних системах. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2020. – № 92.– С. 107-121. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.12>

УДК 669.715:669.017;621.762:669.2/8

Музика О.О., мол. наук. співробітник  
Єфімов М.О., канд. фіз-мат. наук., ст. наук. співробітник  
Захарова Н.П., канд. фіз-мат. наук., ст. наук. співробітник  
Гончарук В.А., канд. фіз-мат. наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, м. Київ, elvis5553@gmail.com

## ПОЛІПШЕННЯ КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЧНИХ ТА КОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ СПЛАВІВ АЛЮМІНІЮ, ЩО ДЕФОРМУЮТЬСЯ ТИПУ 5XXX

В роботі вивчали вплив легування та видів механічної та термомеханічної обробки на механічні властивості та корозійну стійкість високоміцних сплавів алюмінію, що деформуються серії 5XXX. Сплави, що вивчалися, легували скандієм, марганцем, цирконієм, церієм, ніобієм та іншими рідкісноземельними та перехідними металами.

Механічні випробування на розтяг деформованих напівфабрикатів проводили на випробувальній машині 1246 зі швидкістю переміщення захватів 1 мм/хв та швидкістю деформації біля  $10^{-3}$  с<sup>-1</sup>. Межу міцності  $\sigma_B$ , межу плинності  $\sigma_{0,2}$  та подовження до руйнування  $\delta$  % розраховували по кривим деформації.

Для визначення механічних властивостей при випробуваннях на розтягування виготовлено стандартні циліндричні зразки згідно ГОСТ 1497-84. Випробування на міжкристалітну корозію (МКК) проводили згідно ГОСТ 9.021-75. Випробування на стійкість до розшарувальної корозії згідно ГОСТ 9.904-82. Випробування на стійкість сплавів проти корозійного розтріскування проводили згідно ГОСТ 9.019-74.

В роботі вдосконалено склади високоміцних сплавів алюмінію, що деформуються серії 5XXX. Встановлено, що при старінні всі сплави типу 5XXX в литому стані, які містять скандій, виходять на рівень твердості біля 1100 МПа, при цьому твердість зростає на величину біля 350 МПа за рахунок виділення когерентних часток  $Al_3(Sc_{1-x}Zr_x)$  з твердого розчину. За 1 год. витримки при 300 °С досягається приріст твердості, близький до максимального.

Показано, що при екструзії зливків сплавів Al-5Mg – (Sc, рідкісноземельні метали, перехідні метали) в інтервалі температур 300 – 350 °С в напівфабрикатах формується комірчаста структура. Легування базового складу 0,3 мас. % Sc призводить до формування дислокаційних комірок з розміром 0,4-0,5 мкм.

Дослідні сплави мають характеристики міцності, на 17 - 47% вищі за характеристики стандартних сплавів типу AlMg без скандію при збереженні задовільної пластичності. Додавання до складу дослідних сплавів Ce та Nb дозволяє збільшити характеристики міцності. Відпал 300 °С напівфабрикатів з цих сплавів підвищує характеристики міцності та корозійну стійкість за рахунок подальшого виділення когерентних з алюмінієвою матрицею інтерметалідів типу  $Al_3Sc$ .

Найбільші характеристики міцності та пластичності мають прутки зі сплаву складу Al - 5Mg – 0,68Mn - 0,34Sc - 0,25Zr - 0,18Nb ( $\sigma_{0,2} = 435$  МПа;  $\sigma_B = 516$  МПа;  $\delta = 11\%$ ). Дослідження структури методом ПЕМ довели, що екструдовані прутки цього складу мають найбільш дрібну та рівномірну субструктуру.

Встановлено, що експериментальні сплави типу 5 XXX, леговані скандієм та перехідними металами, у вихідному стані та після відпалювання при температурі 175 °С продовж 10 годин мають швидкість корозії в два рази нижчу ніж у базовому сплаві. Проведені корозійні дослідження сплаву Al-5,5Mg-0,22Sc-0,15Cr-0,1Zr, показали, що даний сплав практично не поступається сплаву AlMg5 по стійкості до міжкристалітної корозії, е



стійким до корозійного розтріскування під напругою і має стійкість до загальної корозії в два рази вищу, ніж для базового сплаву.

УДК 538.95

Широкий Ю.В. канд. техн. наук, доцент  
Фесенко Є.І, аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», i.shyrokyi@khai.edu

### ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕНЕРГІЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА УТВОРЕННЯ НАНОСТРУКТУР У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ АЛЮМІНІЮ

В результаті теоретичного дослідження формування наноструктур у поверхневому шарі алюмінієвого сплаву ВД17 було отримано розподіл температур в зоні іонізуючого випромінювання на різних глибинах матеріалу. Також були побудовані поля температур для різних щільностей теплового потоку. Отримані температурні поля для деяких теплових потоків показали, що зі збільшенням глибини матеріалу, температура знижується. На нижчих глибинах максимальні температури знижуються до значень, при яких можуть реалізовуватися наноструктури. Також було проведено аналіз впливу енергії кристалізації на енергію іонів необхідну для утворення наноструктур у поверхневих шарах алюмінію (рис. 1). Завдяки цьому можливо більш точно підібрати технологічні параметри для реалізації наноструктурних та субмікроструктурних шарів на алюмінієвих сплавах.

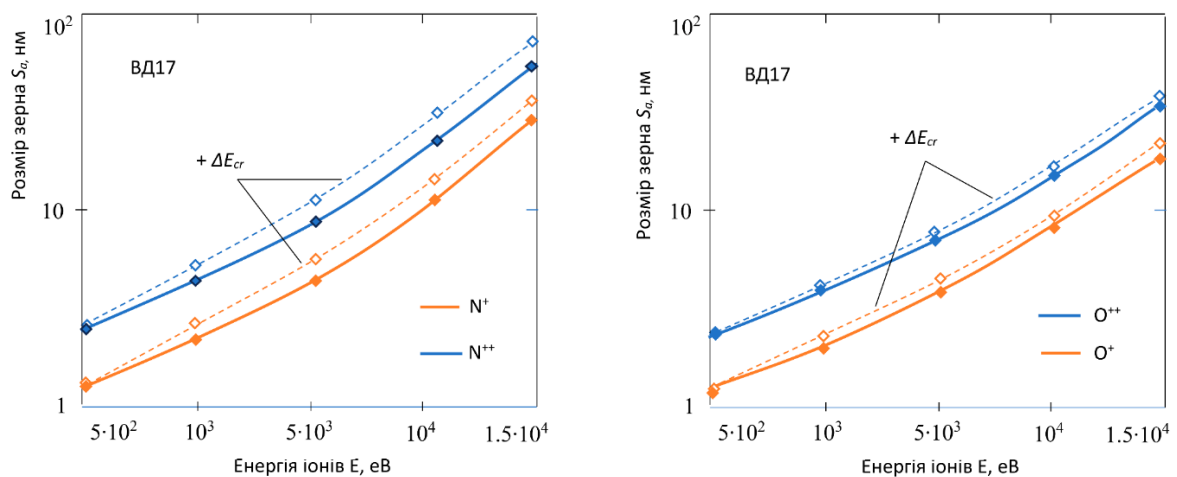


Рис. 1 – Залежність розміру зерна від енергії іонів азоту та кисню з зарядом: 1)  $z = 1$ ; 2)  $z = 2$ ; при їх дії на алюмінієвий сплав ВД17 з урахуванням  $\Delta E_{кр}$  і без урахування  $\Delta E_{кр}$ , що витрачається на кристалізацію

В результаті проведених розрахунків показано, що енергія кристалізації збільшує енергію іонів необхідну для отримання наноструктур. При енергіях іонів близько 300 eV енергією кристалізації від 0,1 до 7 eV, можна знехтувати. Тоді при енергіях близьких до  $1,6 \cdot 10^4$  eV енергія кристалізації має значення від  $2,1 \cdot 10^2$  до  $1,2 \cdot 10^4$  eV причому енергія для іонів кисню більша. Також розрахунки показали, що заряд іонів суттєво впливає на енергію кристалізації, а саме, для великих зарядів іонів вона збільшується. Все це говорить, що необхідно враховувати енергію кристалізації тільки при енергіях  $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$  eV, що дозволяє скорегувати технологічні параметри іонно-плазмової обробки алюмінієвих сплавів для збільшення вірогідності отримання наноструктур.

УДК 621.791.37

Мельниченко Т.В., докт. техн. наук  
Устінов А.І., докт. фіз.-мат. наук, професор  
Самофалов О.В., інженер

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,  
melnychenko21@ukr.net

## ДИFUЗІЙНЕ З'ЄДНАННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti6-4 ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНИЙ БАГАТОШАРОВИЙ ПРОШАРОК ЕВТЕКТИЧНОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Ti-Cu

Титановий сплав Ti6-4 завдяки низькій питомій вазі, високій корозійній стійкості та питомій міцності широко використовується в аерокосмічній, автомобілебудівній, суднобудівній галузях, атомній енергетиці, медицині тощо. Однак, отримання сучасних виробів, зокрема складної форми та тонкостінних, потребує надійної технології з'єднання їх окремих елементів. Зварювання та паяння титанового сплаву Ti6-4 традиційними методами виконується при високій температурі та супроводжується структурними перетвореннями та зростанням зерна, що призводить до зниження показників міцності матеріалу та формування залишкових напружень в з'єднанні. Використання проміжних багатошарових прошарків, в яких при нагріванні дифузійні процеси перемішування компонентів проходять з аномально високою швидкістю, дозволяє знизити температуру процесу формування з'єднання [1]. З цієї точки зору з'єднання титанового сплаву Ti6-4 доцільно проводити з використанням багатошарових прошарків на основі систем з евтектикою з температурою плавлення <math><950^{\circ}\text{C}</math>, що буде запобігати деградації структурних характеристик сплаву. Перевагою такого підходу є швидке формування тонкого прошарку рідкої фази в стику за рахунок інтенсивного дифузійного перемішування компонентів багатошарового прошарку, що забезпечить змочування поверхонь з'єднання та їх фізичний контакт при низькому зусиллі стискування.

Проміжні багатошарові прошарки хімічного складу близького до складу подвійних евтектик  $\text{Ti}_2\text{Cu}+\text{TiCu}$  - №1,  $\text{TiCu}_2+\text{TiCu}_4$  - №2 та потрібної евтектики Ti-Ni-Cu - №3 отримано методом пошарового електронно-променевого осадження компонент на підкладку [2] (рис. 1, а) у вигляді фольги товщиною 35 мкм з однорідним розподілом компонентів по товщині та плакованої третім компонентом (рис. 1 б, в). Плавлення двокомпонентних фольг при нагріванні починається в інтервалі температури  $890\text{-}920^{\circ}\text{C}$ , яка не залежить від хімічного складу фольги та близька до температури плавлення евтектики, збагаченої міддю (рис. 1, г). Плавлення трикомпонентної фольги відбувається при температурі  $930^{\circ}\text{C}$ , що забезпечується формуванням потрібної евтектики внаслідок дифузійного перемішування компонентів при нагріванні.

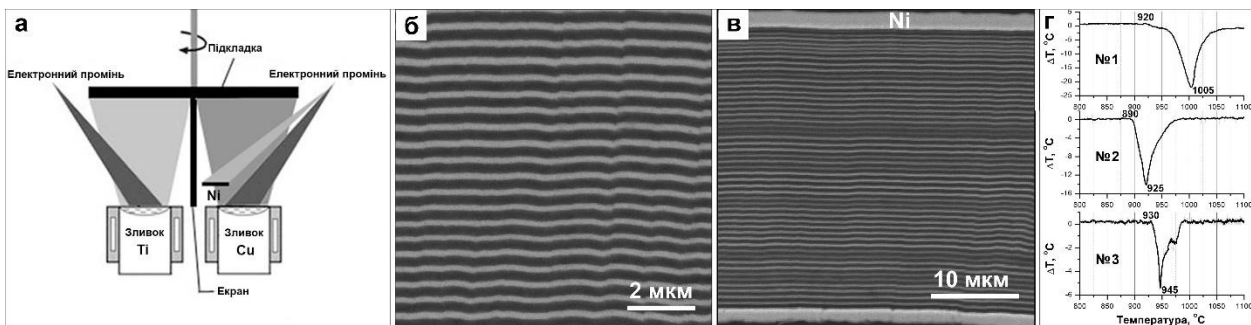


Рис. 1 – Схема отримання фольги (а), СЕМ зображення поперечного перерізу фольги Ti/Cu (б) та Ti-Ni-Cu (в), фрагменти кривих ДТА (г)

З урахуванням температури плавлення проміжної фольги з'єднання сплаву Ti6-4 проводили при температурі 950°C, зусиллі стискання 70кПа та тривалості нагрівання 60хв. Дослідження показали, що структура, хімічний та фазовий склад з'єднання визначаються складом проміжного прошарку та дифузійною рухливістю компонентів в з'єднанні. При використанні двокомпонентної фольги Ti/Cu в стику формується прошарок інтерметаліду  $Ti_2Cu$ , об'ємна доля якого зменшується при зниженні температури та інтервалу плавлення проміжного прошарку (рис. 2, а, б), що забезпечує підвищення міцності з'єднання на зріз. Руйнування з'єднання відбувається в області інтерметалідного прошарку (рис. 2, в).

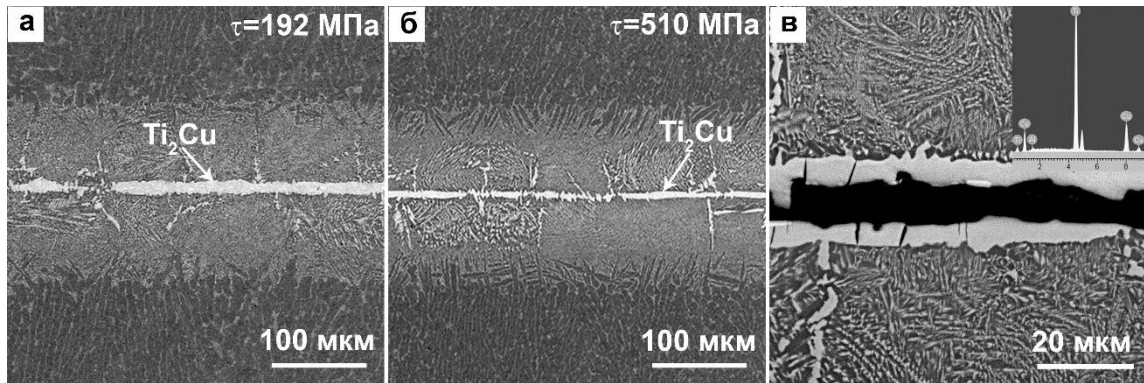


Рис. 2 – Мікроструктура з'єднань, отриманих з використанням двокомпонентної проміжної фольги Ti/Cu №1(а), №2(б) та після випробувань на зріз (в)

Зниження температури появи рідкої фази в стику за рахунок утворення потрійної евтектики Ti-Ni-Cu при використанні трикомпонентної плакованої фольги Ni+Ti/Cu+Ni та зменшення інтервалу плавлення проміжного прошарку забезпечує формування однорідної Відманштеттенової структури  $\alpha+\beta$  по всій ширині дифузійної зони (рис. 3а).

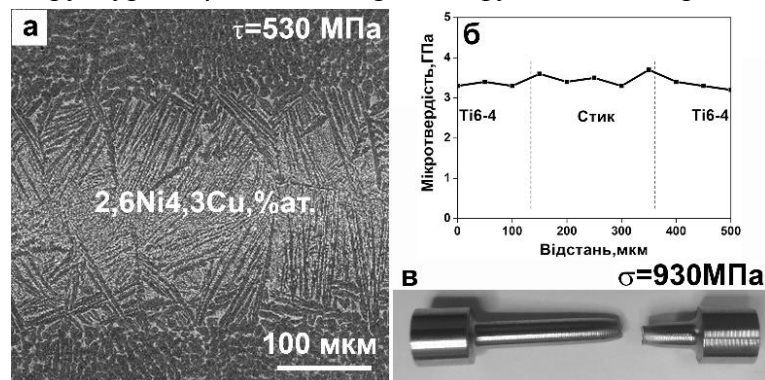


Рис. 3 – Мікроструктура з'єднання, отриманого з використанням трикомпонентної проміжної фольги Ni-Ti/Cu-Ni №3(а), розподіл мікротвердості в стику (б), зразок після випробувань на розтяг (в)

Визначено, що вміст інтерметалідоутворюючих компонентів нікелю та міді в з'єднанні <7% ат. запобігає утворенню в стику прошарку та великих частинок інтерметаліду, що забезпечує однорідність розподілу мікротвердості в з'єднанні (Рис. 3б) та його високу міцність  $\sigma=930$ МПа, що складає >0,9 від міцності сплаву Ti6-4. З'єднання руйнується по основному матеріалу (рис. 3в), що свідчить про його рівномірність.

#### Список посилань

1. A.I. Ustinov, Yu.V. Falchenko, A.Ya. Ishchenko et al, Diffusion welding of  $\gamma$ -TiAl based alloys through nano-layered foil of Ti/Al system, Intermetallics. 16 (2008) 1043-1045. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2008.05.002>
2. A.I. Ustinov, T.V. Melnychenko, S.A. Demchenkov, Structural mechanism of plastic deformation of Al/a-Si multilayer foils at heating under load, Mater. Sci. Eng. A. 810 (2021) 141030. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141030>.

УДК 621.791.754

Майданчук Т.Б. канд. техн. наук, ст. дослідник, зав. відділу  
Лук'янченко Є.П., наук. співробітник  
Ганчук А.В., заст. зав. відділу  
Степченко Д.М., зав. групи

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, [pw1\\_37@ukr.net](mailto:pw1_37@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З КОМБІНОВАНИМ ЗАХИСТОМ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ

Підвищення якості продукції, що випускається, та рівня продуктивності праці багато в чому залежить від вірно обраного технологічного рішення і оптимального налаштування обладнання, що використовується при зварюванні.

Сучасне зварювальне виробництво розвивається в основному за рахунок створення високоавтоматизованого обладнання з використанням інформаційних технологій і комп'ютерних систем управління діагностики та контролю. Розвиток технологій дугового зварювання плавким електродом, які на сьогодні є найбільш поширеними при виготовленні зварних металоконструкцій, спирається на широке використання можливостей цифрових технологій, інверторної техніки джерел живлення, створення високоефективних електродних та присадних матеріалів, комбінування різних джерел енергії (однорідних чи різнорідних), удосконалення методів захисту зони зварювання від навколишнього середовища.

В сучасному зварювальному виробництві наряду з традиційними дуговими процесами (MMA, MIG, TIG, SAW) все більшого застосування знаходять комбіновані та гібридні процеси, метою яких є підвищення ефективності плавлення як електродного, так і основного металу, і тим самим, збільшення продуктивності зварювальних робіт. Однак дані системи та обладнання мають високу вартість та їх використання є раціональним при крупносерійному виробництві.

При високопродуктивних процесах, як і при зварюванні на потужних режимах, має місце збільшений об'єм розплавленого металу зварювальної ванни і значна площа її поверхні, захист якої утруднений, що потребує створення необхідних умов захисту його від впливу навколишнього середовища. В зв'язку з цим актуальною є задача дослідження технологічних можливостей використання при MIG/MAG процесі додаткового шлакового захисту, тобто виконання процесу зварювання напіввідкритою дугою по шару флюсу. Слід відзначити, що в практиці зварювального виробництва використання комбінованого газо-шлакового захисту успішно реалізується при зварюванні покритими електродами та порошковим дротом.

Поставлена задача досліджень по розробці високопродуктивних технологій дугового зварювання і наплавлення з використанням комбінованого захисту зони дуги та зварювальної ванни вирішувалась по ряду напрямків: для зварювання типових стикових та кутових швів, виконанні вертикальних швів з примусовим формуванням металу.

Для дослідження та визначення умов забезпечення стабільності процесів плавлення і переносу електродного металу та вивчення основних закономірностей управління технологічними параметрами процесу було застосовано сучасний аналогово-цифровий комплекс ADA1406/U/DAC та програмне забезпечення, що дозволило проілюструвати виконані дослідження та підтвердити їх достовірність та вести моніторинг поточних параметрів процесу.

Виконані дослідження показали, що наявність при MIG/MAG-процесі додаткового тонкого шару плавленого флюсу марки АН-348 поліпшує стабільність дугового процесу, формування та якість зварних швів (наплавки). Поліпшення просторової стабільності дуги,

на наш погляд, обумовлено наявністю по краях ванни і в її хвостовій частині плівки розплавленого флюсу який стабілізує положення катодної плями на поверхні зварювальної ванни. Експериментальним шляхом встановлено, що товщина шару флюсу повинна бути не більше 5-7мм, тобто процес зварювання виконується напіввідкритою дугою.

Показана доцільність використання двоелектродного МАГ-зварювання з комбінованим газо-шлаковим захистом при зварюванні стикових швів в нижньому положенні сталей товщиною 6-16мм, особливо при наявності похибок при зборці під зварювання (зазори, депланація кромки).

При зварюванні вертикальних швів з примусовим формування металу комбінований шлако-газовий захист дозволяє виконувати процес з мінімально можливою глибиною шлакового шару, що зменшує тепловкладення в зварювальні кромки і поліпшує ударну в'язкість металу зварного з'єднання.

Наявність комбінованого захисту дає можливість виконувати високоякісне зварювання дротами серійного виробництва замість спеціальних порошкових, що з економічної точки зору є суттєвою перевагою удосконаленого процесу.

УДК 621.791.12

**Болотов Г.П., докт. техн. наук, професор**  
**Прибитько І.О., канд. техн. наук, доцент**  
**Гречка В.В., аспірант**  
**Чабан Є.Є., здобувач вищої освіти**  
**Ососок М.О., здобувач вищої освіти**

Національний університет «Чернігівська політехніка», bolotovgp@gmail.com

### **ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ У ПЛАЗМІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ**

Для отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів ефективно застосовують способи зварювання в твердому стані, одним з яких є дифузійне зварювання. Широка номенклатура таких з'єднань пред'являє до джерел енергії зварювання ряд специфічних вимог, що стосуються як технологічності, так і універсальності джерела. Серед джерел енергії, що застосовуються для дифузійного зварювання (індукційний, радіаційний та ін.), найбільш повно вказаним вимогам відповідає нагрів плазмою тліючого розряду, що горить в середовищі активних або інертних газів при їх тиску 0,13...13,3 кПа, струмах розряду 1...30 А і напрузі на електродах 300...600 В. Такий широкий діапазон параметрів режиму горіння тліючого розряду забезпечує формування площі зони нагріву на поверхні виробу, який в даному випадку є катодом розряду, у межах  $(1...100) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , і дозволяє ефективно регулювати інтенсивність нагріву та розподіл теплової енергії в процесі зварювання.

Тепловий стан зони зварювання при іонному нагріванні визначається величиною розрядного струму, міжелектродною відстанню, тиском і родом захисного газу. Основними параметрами керування процесом зварювання в тліючому розряді є струм розряду і тиск газу, що визначають, відповідно, потужність джерела і густину енергії в зоні нагріву. Ці параметри в процесі зварювання повинні стабілізуватись на етапах іонного очищення поверхонь виробу та ізотермічної витримки, а також, змінюватись за заданим законом при переході від іонного очищення до зварювального нагріву.

Безпосередній контроль одного з головних параметрів дифузійного зварювання – температури в зоні з'єднаних поверхонь, як контактними, так і безконтактними методами ускладнений впливом електричного поля розряду на показання термопар та фоновим випромінюванням плазми тліючого розряду.

У зв'язку з цим були розроблені розрахункові методи визначення температури зони зварювання в залежності від параметрів режиму тліючого розряду та характеристик

зварюваних деталей. Розроблена математична модель теплових процесів дозволяє отримувати неперервну інформацію про температуру зварюваних поверхонь і на цій основі здійснювати оптимальне керування потужністю тліючого розряду.

Розроблена динамічна модель іонного нагріву дозволяє не тільки отримувати неперервну інформацію про температурний стан з'єднаних поверхонь, але й здійснювати визначення потужності тліючого розряду в залежності від характеристик зварного вузла та необхідних характеристик перехідних процесів.

Для вирішення поставлених задач була розроблена система керування процесом зварювання у тліючому розряді, побудована за ієрархічним принципом, де на першому рівні застосовані автоматичні регулятори струму розряду та тиску газу, а на другому – мікропроцесорна система керування роботою регуляторів першого рівня шляхом зміни завдань по регульованому параметру процесу – температурі зони зварювання, що визначається розрахунковим способом.

УДК 669.295: 621.91

**Говорун Т.П., канд. фіз.-мат. наук, доцент**

**Пахненко Д.В., аспірантка**

**Ханюков К.С., аспірант**

**Варакін В.О., аспірант**

**Масалітова К.І., магістрантка**

Сумський державний університет, [hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІТРИДІВ**

В останні роки на промислових підприємствах одержують практичне застосування зміцнювальні та захисні покриття, зокрема вискоєфективні функціональні наноструктуровані нітридні покриття. Серед використовуваних дані покриття мають свої переваги: фізико-хімічні властивості, що істотно відрізняються від властивостей об'ємних зразків з того ж матеріалу і призводять до підвищення міцності і пластичних властивостей зміцнюємого матеріалу, появи пластичності та в'язкості при руйнуванні.

Актуальними вважаються дослідження, які орієнтовані на вдосконалення існуючих і опрацювання новітніх вискоєфективних методів підвищення експлуатаційних властивостей поверхонь деталей машин і механізмів шляхом нанесення наноструктурованих багатокомпонентних нітридних покриттів, тому що широко застосовувані однокомпонентні покриття на основі нітриду титану не можуть задовольняти вимоги сучасної техніки, працювати при високих температурах та в агресивних середовищах. Ряд найважливіших технічних питань може бути вирішено шляхом легування нітриду титану такими елементами, як Zr, Al, Cr, Mo, W і Si та отримання складних нітридів титану.

Було проведено дослідження наноструктурованих нітридних покриттів на основі Ti, Ti-Zr, Ti-Al, що обумовлено необхідністю отримання покриттів з різноманітною структурою і оптимальними властивостями для підвищення експлуатаційних властивостей поверхонь деталей для роботи виробів у певних умовах. За допомогою методу реактивного магнетронного розпилення було отримано покриття із різних матеріалів і різного складу (табл. 1), що робить цей метод одним із перспективних для фізичного осадження матеріалів.

AlTiN-покриття (нітрид алюмо-титану) – покриття і досі постійно удосконалюється. Завдяки оптимізації структурних, хімічних та механічних властивостей для покриття були досягнуті: екстремально висока теплотвердість, дуже хороша стійкість до оксидування та відмінна адгезія покриття. Це покриття наноситься тільки на твердосплавні інструменти і вони добре підходять для обробки важкооброблюваних загартованих сталей та для високошвидкісної обробки.

Таблиця 1 – Узагальнені дані про різні види покриттів, які застосовуються для зміцнення деталей і інструменту

	AlTiN/AlTiN нанопокриття	TiAlZrN- покриття	AlTiZrN/- покриття	TiSiN-покриття
Основа	швидкорізальна сталь, твердий сплав, кермет	швидкорізальна сталь, твердий сплав, кермет	швидкорізальна сталь, твердий сплав, кермет	швидкорізальна сталь, твердий сплав, кермет
Будова шарів	одношарове і наношарове	багатошарове	наношарове	багатошарове, нанокompозитне
Колір	синій антрацит	блідо-золотий	блідо-золотий	мідний
Твердість, ГПа	34	33	34	40
Робоча температура (°C)	<900	< 800	< 800	< 800
Теплопровідність (kW,mK)	0,05	0,05	0,05	0,03
Вид обробки	усе окрім фрезерування	фрезерування, сверління, нарізання різьби	сверління, нарізання різьби	сверління, розвертання, фрезерування
Переважно оброблювані матеріали	нержавіючі, загартовані сталі, нікелеві сплави	універсальні	нержаваючі сталі, Ni сплави	вуглецеві сталі, автоматні сталі, Mn-сталі, жароміцна сплави
Особливості	для високошвидкісної, жорсткої обробки	кращий схід стружки	зниження тертя	висока твердість, знижена адгезія

TiAlN-покриття (алюмонітрид титану) – спеціальне покриття для обробки абразивних матеріалів (чавуни, Al-Si сплави) та/або при температурних навантаженнях, а також обробка без мастильно-охолоджувальної рідини.

TiSiN-покриття. Візуальна відмінність: мідний колір. Нанокompозитне покриття з високою теплостійкістю для обробки вуглецевих сталей, автоматних сталей та Mn-сталей. Покриття знижує ймовірність кратерного зносу. Застосовується для обробки жароміцних сплавів. Лімітовано наноситься на свердла та фрези із твердого сплаву.

AlTiZrN-покриття. Візуальна відмінність: колір блідий золотий. Покриття спеціально призначені для обробки титану, м'яких Ni-сплавів, чистих Al сплавів та сплавів Al-Si, де Si <12%. Утворення наклепу на різальній кромці знижено завдяки гарному відведенню стружки.

Формування покриття TiAlN на інструментальних матрицях відбувалося з локальними особливостями (рис. 1). Для процесу осадження характерні такі механізми як формування блочності, а, в загальному випадку, поява морфологічної ієрархії у вигляді втрати монокристалльності.

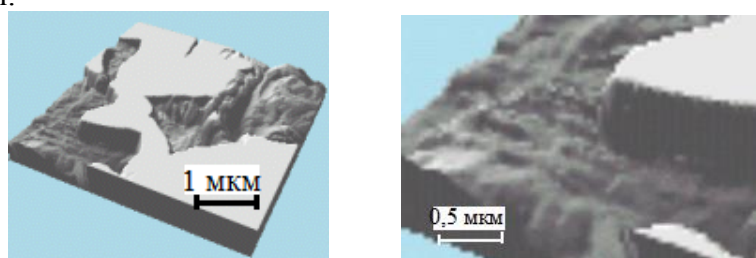


Рис. 1 – Місцеві особливості формування покриття на основі TiAlN

Визначено, що твердість та міцність багат шарового покриття збільшується із зменшенням товщини індивідуальних шарів до одиниць нанометрів. Показано, що мікротвердість багат шарових нанопокриттів, що містять з'єднання із шарів з мікротвердістю  $\geq 20$  ГПа, збільшується приблизно у 2 рази, тобто досягає значень  $\geq 40$  ГПа.

Таким чином, підвищення працездатності різального інструменту з багат шаровими наноконпозиційними покриттями обумовлено тим, що дані покриття відповідають вимогам "третього середовища", тобто. мають у своєму складі шари, які відповідають властивості інструментальної матриці, шари, що забезпечують високий опір зносу в умовах знакозмінної напруги та адгезійно-втомних процесів.

УДК 539.219.3:53.09

Герцірікен Д.С., канд. фіз-мат. наук,  
Мазанко В.Ф., докт. техн. наук, професор,  
Зайцева Н.В., канд. техн. наук,  
Богданов С.Є., канд. фіз-мат. наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [deciatinka@gmail.com](mailto:deciatinka@gmail.com)

### РОЗПОДІЛ АТОМІВ ЗА ГЛУБИНОЮ ДИФУЗІЙНОЇ ЗОНИ МЕТАЛІВ ПРИ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ

Одним із недоліків ударного навантаження [1] є залишкова пластична деформація оброблюваного матеріалу, яка далеко не завжди допустима в реальному технологічному процесі. У промисловій практиці часто виникають завдання, коли зразок (або виріб) повинен зберігати свою форму та розміри після імпульсної обробки (у деяких випадках багаторазової). Тому необхідний пошук бездеформаційних імпульсних навантажень, що призводять до прискорення процесів масоперенесення без руйнування виробу.

Розглянемо багаторазово пружне деформування, наприклад, імпульсне стиснення газового середовища, в якому проводиться дифузійне відпалювання та ультразвуковий вплив. Для дослідження впливу імпульсного стиснення газового середовища на дифузію були обрані метали з різним типом кристалічних ґрат: залізо (ОЦК), нікель (ГЦК), титан (ГПУ), в яких досліджувалась самодифузія за допомогою ізоотопів  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{44}\text{Ti}$  у середовищі аргону при  $T = 1073$  К протягом  $3,6 \cdot 10^3$  с (40 актів стиснення). З розгляду концентраційних кривих розподілу власних мічених атомів випливає, що імпульсна обробка призводить до суттєвого збільшення глибини їхнього проникнення (рис. 1). При цьому замість різкого падіння концентрації з глибиною при ізотермічному відпалюванні, на початкових ділянках профілів довжиною від 4 до 8 мкм в залежності від виду використаного металу спостерігається слабка зміна концентрації. Подальший хід концентраційного профілю із достатньою точністю можна описати експоненційною залежністю від квадрата глибини.

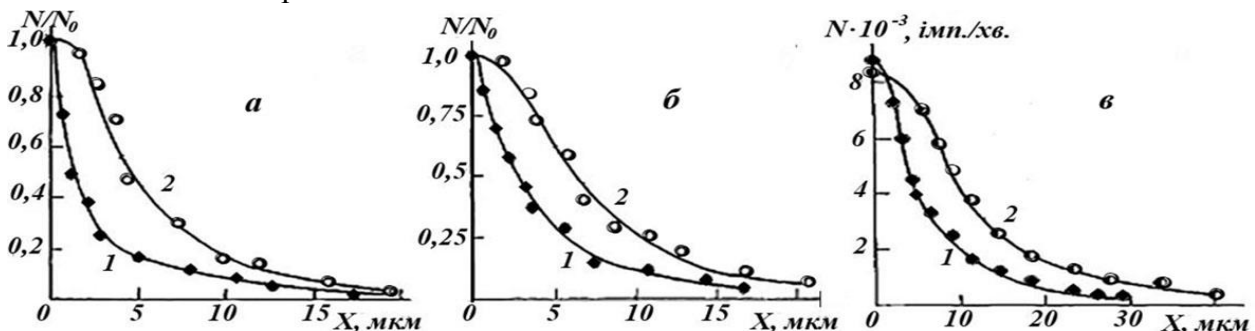


Рис. 1 – Розподіл  $^{55}\text{Fe}$  (а),  $^{63}\text{Ni}$  (б),  $^{44}\text{Ti}$  (в) після дифузійного відпалу: 1 – без навантаження, 2 – після імпульсної обробки.



Однак авторадіографічні дослідження дифузійної зони показали, що в присутності пружної деформації подібно до того, що має місце в стаціонарних ізотермічних умовах, спостерігається переважний внесок зернограничної дифузії в загальний потік речовини (рис. 2). Співвідношення потоків становить середньому 2:1. Зазначимо, що у двофазному матеріалі (титановий сплав ВТ-20) спостерігається також міграція атомів ( $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{44}\text{Ti}$ ) по міжфазних границях, і в цьому випадку глибина проникнення зростає відповідно на 8 і 10 мкм. Розрахунок дифузійної ширини міжфазної і межзеренної межі ( $d_{\text{міжфаз}}$  і  $d_{\text{міжзер}}$ ) для самодифузії в  $\text{Ti}$ , показав, що при імпульсному стисканні аргону ці значення дещо вищі, ніж при ізотермічному відпалюванні, причому в обох випадках відсмоктування з границі в об'єм сильніше саме для міжфазних границь:

$d_{\text{міжфаз}}^{\text{ізот}}$	$d_{\text{міжзер.}}^{\text{ізот}}$	$d_{\text{міжфаз.}}^{\text{імп}}$	$d_{\text{міжзер.}}^{\text{імп.}}$
6,5 мкм	5,5 мкм	8,0 мкм	7,0 мкм

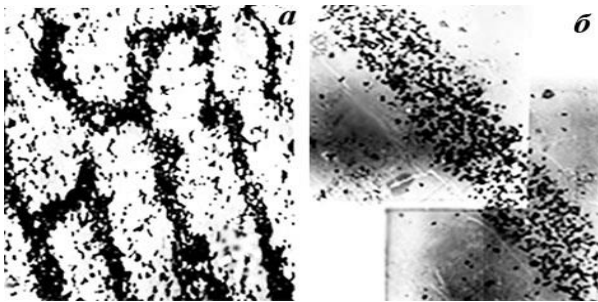


Рис. 2 – Авторадіограми-репліки нікелю після проникнення атомів  $^{63}\text{Ni}$  за умов імпульсного стиснення в середовищі аргону,  $\times 2500$  (а) та ізотермічного відпалу,  $\times 4600$  (б), зняті паралельно поверхні на глибині  $\sim 5$  мкм.

Розрахунок величин ефективних коефіцієнтів дифузії заліза в залізі дає наступні значення рухливості атомів після ізотермічного відпалу ( $D$ ) і після імпульсної обробки ( $D_i$ )  $D = 6,9 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$  і  $D_i = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ ; нікелю в нікелі –  $D = 8,7 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$  і  $D_i = 2,8 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ , титану в  $\alpha$ -титані –  $D = 9,8 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$  і  $D_i = 2,9 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ , нікелю в титані –  $D = 5,1 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$  і  $D_i = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ . Порівняння цих величин свідчить, що багаторазове імпульсне збільшення тиску газу, що оточує зразок у процесі ізотермічного відпалу, призводить до збільшення швидкості дифузії незалежно від типу решітки. Той самий ефект має місце для проникнення в заліза атомів нікелю і атомів заліза в нікель. Однак інтерметалічні фази, що утворюються при взаємодії, наприклад, нікелю з титаном, призводять до істотної зміни концентраційних профілів (рис. 3 а). Причому, що цікаво, тривалість і температура відпалу недостатні для утворення шару інтерметалідів без імпульсного впливу. Аналогічним чином змінюється форма профілю при проникненні із середовища атомів азоту чи вуглецю, коли утворюються шари фаз втілення (рис. 3 б). Тобто збільшення рухливості атомів призводить до більш інтенсивного фазоутворення. Зазначимо, що атоми інертного середовища не проникають у глибок металу при даному виді впливу, у той час як навіть незначною мірою пластичної деформації достатньо для введення атомів інертного газу із середовища у кристал.

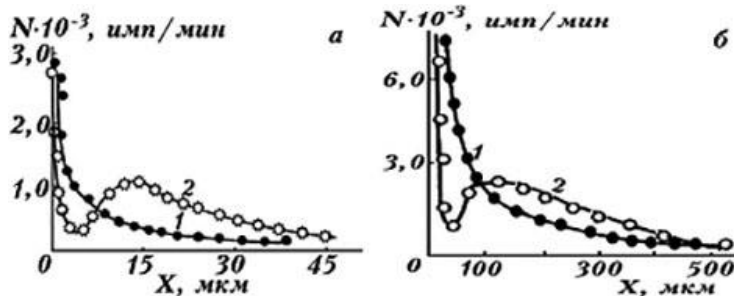


Рис. 3 – Розподіл атомів нікелю  $^{63}\text{Ni}$  у титані після дифузійного відпалу ( $T = 1093 \text{ K}$ ) у середовищах аргону (а) та вуглецю в залізі (б) протягом 1 год: 1 – без навантаження, 2 – після 60 актів імпульсного стиснення середовища (тривалість актів  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ).

Відомо, що під дією ультразвуку в металах відбуваються різні процеси, в основі яких лежить поглинання енергії УЗ коливань. Якщо напруження у хвилі перевищують циклічну межу плинності, починається нагрівання матеріалу, і знижується висота потенційного

бар'єру для руху дефектів у полі напружень. Відбувається активація дислокаційних джерел, розмноження дислокацій та точкових дефектів, вибудовування дислокаційних стінок та подрібнення зеренної структури та збільшення протяжності меж зерен та субзерен (рис. 4), що створює сприятливі умови для протікання процесу міграції атомів.

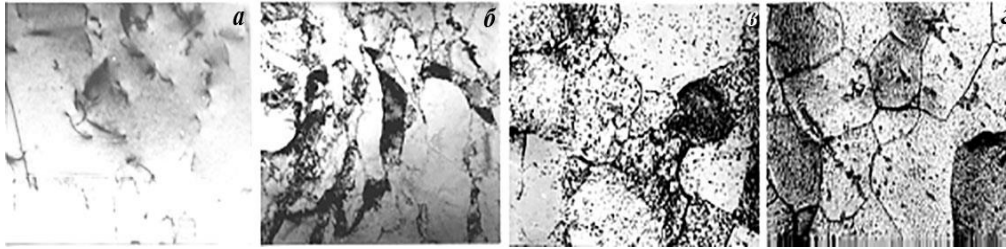


Рис. 4 – Структура Fe у вихідному стані (*a* –  $\times 20000$ , *b* –  $\times 300$ ) і після УЗ (*b* –  $\times 20000$ , *c* –  $\times 300$ ).

У свою чергу, прискорення дифузійних процесів при ультразвуковому навантаженні має також практичне значення, оскільки дозволяє використовувати потужний ультразвук для інтенсифікації низки технологічних процесів, в основі яких лежить міграція атомів, при термічній та хіміко-термічній обробці. Дійсно, озвучування, збільшуючи рухливість і глибину проникнення власних атомів і атомів елементів, що розчиняються в матриці за типом заміщення, зберігає зернограничний механізм дифузії (рис. 5 *a*) подібно до того, що має місце при ізотермічних відпалах. Однак при проникненні домішок втілення, наприклад, при цементації з використанням радіоактивного ізотопу вуглецю  $^{14}\text{C}$ , видно, що накладання високочастотних (ультразвукових) коливань на зразок заліза армко, що відпалюється, не тільки посилює процес утворення карбідів заліза, але і призводить до їх рівномірного розподілу (рис. 5 *b, в*). У цьому випадку карбіди розташовуються не лише на границях, а й у об'ємі зерен. Зазначимо, що на відміну від проникнення атомів металів, при утворенні карбідів внаслідок міграції атомів вуглецю дещо порушується експоненційний розподіл концентрації вуглецю за глибиною дифузійної зони.



Рис. 5 – Мікроавторадіограми заліза ( $^{55}\text{Fe}$ ) після УЗ обробки з нагрівом ( $\varepsilon_m = 1,3 \cdot 10^{-4}$ ,  $T = 773 \text{ K}$ ),  $\times 70$ , та заліза після дифузії в нього вуглецю  $^{14}\text{C}$  при нагріві (*a*) та нагріві з ультразвуком (*b*) (1073 K, 30 кГц),  $\times 150$ .

Накладення пластичної деформації на зразок, що озвучується, посилює швидкість міграції атомів. Так, при УЗ-обробці без деформації рухливість атомів вуглецю після досягнення порогового значення амплітуди знакозмінних деформацій визначається значенням  $2,1 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$  (у стаціонарних умовах  $D = 9,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ ), а при ультразвуковій ударній обробці (УЗУО) значення коефіцієнта дифузії більш ніж на 2 порядки вище -  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ . Тобто переважаючий внесок у перенесення речовини при УЗУО вносить імпульсна пластична деформація, незважаючи на те, що вона стимулює об'ємний механізм перенесення речовини.

При швидкому (за кілька мкс) стисненні середовища, в якому знаходиться зразок, шляхом вибуху тонкого електричного дроту у воді (ЕГІ-вплив [1]) також відбувається лише пружна деформація, що сприяє міграції атомів покриття на глибини  $\sim 10 \text{ мкм}$  (рис 6 *a*). Коефіцієнт самодифузії заліза становить  $9,6 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ , що майже на 8 порядків вище, ніж

при повільному стисненні та 4 порядки, ніж при озвучуванні з ультразвуковою частотою. Другою відмінністю від УЗ-обробки є той результат, що накладення додаткового пластичного деформування трохи зменшує рухливість атомів, приблизно в 4 рази. Ще однією відмінністю від повільного стиснення, а також УЗ-обробки без залишкової пластичної деформації, є інший характер розподілу – замість зернограничного має місце об'ємний (рис. 6 б). Тобто при ЕГІ впливі, незважаючи на відсутність пластичної деформації, швидкість міграції та розподіл атомів подібні типовим для швидкоплинних видів пластичного деформування.

Отже можна вважати, що як при пластичному, так і при пружному деформуванні, рухливість та розподіл атомів пов'язані із тривалістю протікання процесу навантаження.

#### Список посилань

1. Герцрикен Д.С. и др. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий. – Киев: РИО ИМФ НАНУ, 2001. – 444 с.

УДК 539.219.3:53.09

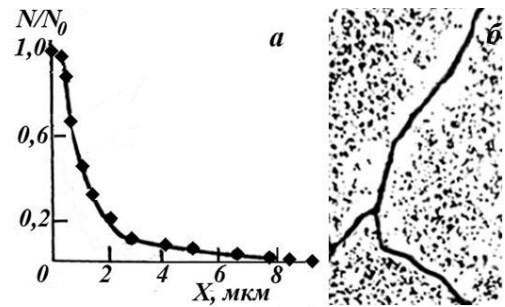


Рис. 6 – Розподіл атомів у залізі при ЕГІ (а) та авторадіограма-репліка, знята у напрямку деформації на відстані від краю  $\sim 10$  мкм,  $\times 4800$  (б)

Герцрикен Д.С., канд. фіз-мат. наук  
 Мазанко В.Ф., докт. техн. наук, професор  
 Зайцева Н.В., канд. техн. наук  
 Богданов С.Є., канд. фіз-мат. наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [deciatinka@gmail.com](mailto:deciatinka@gmail.com)

### ВПЛИВ КВАЗИСТАТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА РУХЛИВІСТЬ І РОЗПОДІЛ АТОМІВ У МЕТАЛІ

До них відносяться в першу чергу повільне (квазістатичне) розтягнення зі швидкостями  $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , осадження на пресі ( $10^{-4} - 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ), дифузійне зварювання ( $5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ ). Розтягування плоских зразків (Fe, Ni) з перетином  $5 \times 15$  мм та довжиною 200 мм здійснювали на випробувальній машині Р-0,5 до ступеня деформації  $\sim 5-10$  % без нагрівання та надпластичних сплавів системи Pb-Sn до 300% при температурах 373 – 523 К. Шар досліджуваних елементів знаходився в середній частині зразка на відстані  $\pm 20$  мм від середини, і після навантаження досліджувався його перерозподіл у глиб зразка і по поверхні, що розтягується. У процесі розтягування записували індикатор діаграми. Осадження на пресі також проводили без нагрівання до ступеня деформації зразка від 10 до 15% за 1 акт дії. При триразовому впливі значення вбирається у 30 %. Вивчався перерозподіл атомів з шару, що знаходиться на поверхні, в глиб зразка, тобто в напрямку деформації. Дифузійне зварювання виконувалося на спеціальній установці у вакуумі 1,33 мПа протягом 10 - 20 хв. при температурах відпалу від 1163 до 1673 К та тисках від 1 до 2,5  $\text{кг/мм}^2$  залежно від виду матеріалів (залізо, молібден та сплави на їх основі). Таким чином попарно деформувалися зразки, виготовлені з однакових, так і різних металів і сплавів. При низьких температурах, аж до кімнатної, зразки деформувалися по одному.

Процес перерозподілу атомів вивчали за допомогою радіоактивних індикаторів  $^{55}\text{Fe}$  та  $^{63}\text{Ni}$  методом зняття шарів та отримували концентраційну криву розподілу ізотопу по глибині. Іншим методом, який застосовується для великих глибин проникнення, була макроавторадіографія. Для вивчення концентраційних неоднорідностей, що виникають як у поверхневих, так і в обсязі металу шарах, застосовувалися відомі методи мікро- та

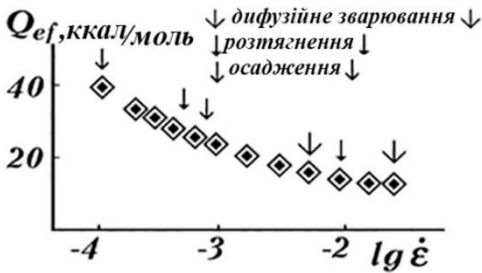


Рис. 1 – Вплив швидкості пластичної деформації на енергію активації самодифузії в залізі за низьких температур.

електронномікроскопічної авторадіографії. Пошаровий радіометричний аналіз, проведений на залізі та міді, показав, що концентраційні профілі розподілу власних атомів і атомів елементів, що утворюють тверді розчини заміщення, деформованих в інтервалі швидкостей деформації від  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $5 \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-1}$  досить добре апроксимуються експоненційною залежністю від квадрата глибини, причому зі зростанням швидкості деформації зменшується енергія активації процесу дифузії (рис. 1) подібно до того, що має місце при великих значеннях енергії активації [1]. Слід звернути увагу на той факт, що для

кожного виду впливу залежність має однаковий вигляд і всі точки укладаються на одну криву. Отже, вид впливу не позначається на швидкісній залежності енергії активації, і має значення лише швидкість деформації. Оскільки інтервали зміни швидкостей деформації при осадженні, розтягуванні та дифузійному зварюванні перекриваються, такий висновок можна вважати коректним. Слід зауважити, що самодифузія в нікелі, гетеродифузія нікеля в залізі, молібдені та їх сплавах, гетеродифузія заліза у нікелі характеризуються аналогічною залежністю енергії активації від швидкості деформації при використаних видах квазістатичного навантаження. Має місце лише деяке збільшення енергії активації порівняно з самодифузією заліза.

Зазначимо, що через відсутність у даних умовах деформування динамічної рекристалізації, що перешкоджає протіканню процесу міграції атомів [2], зберігається монотонна залежність рухливості атомів від швидкості пластичної деформації.

Для визначення шляхів переважної дифузії та локалізації проникаючих атомів було проведено авторадіографічний аналіз металів, підданих повільним видам деформації. Як показали представлені на рис. 2 авторадіограми, має місце зернограничне проникнення атомів, причому це спостерігається навіть за температур  $T_{\text{навантажен.}} > 0,8 T_{\text{пл.}}$

Збільшення ступеня деформації до 30% для дифузійного зварювання і до 80% та аж 300% (надпластичний сплав) для розтягування та осадження збільшує частку об'ємного потоку, проте вона в 2–3 рази менша, потоку речовини по межах зерен. Поява шляхів короткої дифузії, пов'язаних із збільшенням щільності дислокацій недостатньо для такого ж перенесення речовини за об'ємом кристала, як перенесення по межах зерен та субзерен.

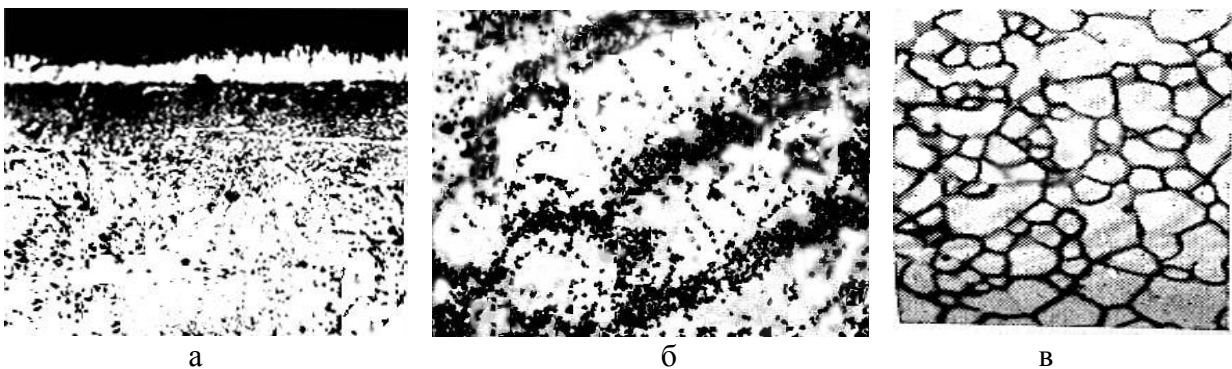


Рис. 2 – Розподіл  $^{63}\text{Ni}$  в залізі після осадження на пресі зі швидкістю  $= 4 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$  (вздовж напрямку дифузії,  $\times 300$ ) (а), розтягування  $= 3 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$  (у площині, паралельній поверхні, на глибині  $\sim 10 \text{ мкм}$ ,  $\times 2500$ ) (б), дифузійного зварювання  $1 \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-1}$  (на відстані  $\sim 15 \text{ мкм}$  від зварного шва,  $\times 200$ ) (в)

Слід зазначити, що температура та швидкість деформування досить помітно впливає не лише на розподіл потоків речовини в об'ємі та по дефектах кристалічної структури, а й на

рухливість атомів навіть при квазістатичних навантаженнях, як це видно на прикладі розтягнення надпластичних сплавів (табл. 1)

Таблиця 1 – Ефективні коефіцієнти дифузії нікелю  $^{63}\text{Ni}$  в сплаві системи Pb-Sn при відпалі без деформування та при навантаженні зі швидкістю  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ . Величина подовження ( $\delta$ ) в усіх випадках становить 300%.

$T, \text{ K}$			373	423	473	523
$\dot{\epsilon}, \text{ c}^{-1}$	0	$D, \text{ cm}^2/\text{c}$	$8,1 \cdot 10^{-12}$	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$
	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$D, \text{ cm}^2/\text{c}$	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$

На відміну від значного впливу на рухливість атомів температури та швидкості деформації величина подовження виявляє невелику дію на міграцію атомів. Так, значення  $\delta$  200% та 400% коефіцієнти дифузії становлять  $1,9 \cdot 10^{-8}$  та  $2,4 \cdot 10^{-8}$  відповідно. При  $\delta = 300\%$ , як видно з табл.1, величина  $D$  має проміжне значення.

Отже, у всіх випадках, коли тривалість процесу пружного і пластичного навантаження перевищує кілька десятків хвилин або мала енергія, що вводиться в кристал, прониклі атоми локалізуються по межах зерен. У той же час дифузія, що протікає за кілька мікросекунд електрогідродудару, як пружної дії, так і такої, що супроводжується додатковим пластичним деформуванням, характеризується об'ємним розподілом [1].

#### Список посилань

1. Герцрикен Д.С. и др. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий. – Киев: РИО ИМФ НАНУ, 2001. – 444 с.
2. Лариков Л.Н.и др. // ФиХОМ. – 1971. – № 4. – с. 113 – 116.

УДК 621.6

Лампіцький О.С., аспірант

Національний університет «Львівська політехніка» oleksandr.s.lampitskyi@lpnu.ua

### ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ

Трубопровідний транспорт відіграє ключову роль у перевезенні рідких та газоподібних речовин на великі відстані. Він є складною інженерною спорудою з великим просторовим розташуванням та складними інженерно-геологічними умовами функціонування. Найбільш протяжною частиною трубопровідного транспорту є його лінійний сегмент, який зазвичай розташовується під землею, але може мати і надземне розташування при подоланні природних або техногенних перешкод.

Надземні ділянки трубопроводу, зокрема, ті, що побудовані у формі балок на окремих опорах, є поширеними через їхні техніко-економічні переваги. Однак відхилення умов експлуатації від прогнозованих режимів навантажень може спричинити небезпечні пластичні деформації. Тому важливо мати достовірні дані про реальні навантаження та геометричне положення цих ділянок.

В роботі пропонується методика встановлення напружено-деформованого стану надземної ділянки трубопроводу, розглядаючи її як багатопрогонову балку на окремостоячих опорах. Цей підхід враховує різноманітні фактори, включаючи внутрішній тиск, розподілене навантаження та властивості ґрунту. Мінімізація відповідного функціоналу дозволяє встановити параметри розрахунку та розкрити невизначеність системи, підвищуючи точність обчислень.

Дослідження також включає аналіз опорних елементів з циліндричними підкладками, де важливо визначити їхнє зміщення в горизонтальному напрямі. Експериментальна перевірка проводилася на діючих магістральних трубопроводах, що дало добру узгодженість результатів.

Отже, запропонована методика дослідження міцності надземних ділянок трубопроводів враховує як теоретичні розрахунки, так і експериментальні дані, що дозволяє отримати точніші результати та забезпечити безперебійну роботу інфраструктури трубопровідного транспорту.

Зазначена методика також передбачає моделювання опорних вузлів надземних ділянок з використанням методу скінченних елементів, що дозволяє уникнути небажаних переміщень та забезпечити більш точні розрахунки. Це особливо важливо для магістральних нафтопроводів, де навантаження може бути значним.

Надто, у роботі враховується різноманітність типів підкладок опор, яка впливає на переміщення характерних точок та реакції опори. Експериментальна перевірка здійснювалася за допомогою електротензометрування на діючих об'єктах, що гарантує достовірність отриманих результатів.

Узагальнюючи, запропонована методика дослідження надземних ділянок трубопровідного транспорту є комплексною та інноваційною, оскільки поєднує теоретичні розрахунки з експериментальною перевіркою на практиці. Це дозволяє забезпечити безперебійну та ефективну роботу інфраструктури трубопровідного транспорту, знижуючи ризики негативного впливу на навколишнє середовище та громадську безпеку.

УДК 621.793.74

**Тунік А.Ю.**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник  
**Адєєва Л.І.**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник  
**Коржик В.М.**, докт. техн. наук, професор  
**Строгонов Д.В.**, канд. техн. наук, наук. співробітник  
**Костін В.А.**, докт. техн. наук, ст. наук. співробітник  
**Григоренко С.Г.**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, [allatunik@gmail.com](mailto:allatunik@gmail.com)

### **СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ ПОРОШКІВ СИСТЕМИ Fe-Al, ОТРИМАНИХ ПЛАЗМОВО-ДУГОВОЮ СФЕРОЇДИЗАЦІЄЮ СТРУМОПРОВІДНОГО ДРОТУ ДЛЯ 3D-ДРУКУ**

В теперішній складний час, у зв'язку з агресією росії проти нашої країни, необхідно спрямувати розвиток технологій на підтримку військової промисловості. Металеві порошки мають унікальні хіміко-металургійні властивості, що дозволяє використовувати їх у різних галузях. З появою адитивних технологій порошкова металургія набула нових перспектив розвитку і є найбільш економічним методом виготовлення виробів різного призначення та значно підвищує ремонтоздатність техніки спеціального призначення.

В роботі досліджено порошки алюмінідів заліза, що отримано методом плазмово-дугового розпилення порошкового струмопровідного дроту зі сталеву оболонкою і алюмінієвим наповнювачем. Експерименти проводили в середовищі аргону на установці «PLAZAR-50-PL-W». Встановлено, що на всіх режимах плазмотрона розпилені частки переважно мають сферичну форму. Кількість часток несферичної форми зростає зі збільшенням розміру часток і становить 7...12% в порошках фракції -315+200 μm і в більш дрібних фракціях вона дорівнює 4...5 %. Основними фазами отриманих матеріалів є алюмініди заліза Fe<sub>3</sub>Al і FeAl в різних їх співвідношеннях. У всіх фракціях порошків кількість металеві складової переважає кількість оксидної. Кількість оксидів зростає при зменшенні фракції порошку і зниженні сили струму плазмотрона. В результаті розпилення при силі струму 220 і 270 А у фракції порошку -200+100μm, зафіксовано більшу кількість алюмінідів 83,88 і 86,30 і найменший вміст оксидів до 10,18 мас.%. В більш дрібних фракціях порошку вміст алюмінідів становить 70,38...75,68, а кількість оксидної складової зростає до 29,62 мас.%. Мікротвердість металевих часток дорівнює 3,07...4,59 МПа.

Оксидні частки, складаються, в основному, з оксидів заліза  $Fe_3O_4$  і  $Fe_2O_3$  і мають вищу мікротвердість 5,32...8,15 МПа при всіх режимах розпилення.

Використання плазово-дугового розпилення струмопровідного дроту системи Fe-Al, дозволило отримати високоякісні сферичні порошки з високими технологічними властивостями, що робить їх привабливими для 3D- друку та відновлення металевих виробів складної форми.

УДК 621.793

**Смірнов О.М., докт. техн. наук., професор**  
**Нарівський А.В., докт. техн. наук., член-кореспондент НАН України**  
**Ухін С.В., інженер**  
**Тунік В.О., інженер**  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ,  
vladimir.tunik@gmail.com

### **РАФІНОВАНА МІДЬ ДЛЯ РОБОЧИХ СТІНОК КРИСТАЛІЗАТОРІВ МБЛЗ**

Основним функціональним вузлом машин для безперервного розливання металів та сплавів є кристалізатор, який забезпечує формування геометричної форми та твердої скоринки заготовки. Ці процеси супроводжуються інтенсивним відведенням тепла від заготовки через робочі стінки кристалізатора, матеріалу яких пред'являються досить високі вимоги. Правильний вибір матеріалу стінок кристалізатора в сукупності з оптимізацією його конструктивних елементів, може значно підвищити експлуатаційний ресурс кристалізатора і забезпечити високу якість поверхневих і підповерхневих шарів безперервно - литої заготовки.

Метою цієї роботи був комплексний аналіз та оцінка можливості використання плит з рафінованої міді як робочих стінок кристалізаторів з урахуванням її фізико-механічних властивостей як конструкційного матеріалу. Обсяг проведених досліджень передбачав рішення наступних задач: визначення електропровідності як опосередкованого показника теплопровідності; вивчення відносного подовження зразків при розтягненні до руйнування як показника пластичності; вимір кількості обертів при випробуванні зразків на скрутку до руйнування як показника термоциклювання; визначення температури початку рекристалізації як показника термічної стійкості. Також була оцінена здатність матеріалу до деформаційного зміцнення та стійкості матеріалу до окислення (втрата маси при нагріванні в окисній атмосфері) для коригування параметрів гарячої прокатки.

В ході робіт було виконано комплексний аналіз фізико-механічних властивостей плит, виготовлених з міді вогневого рафінування та обґрунтовано можливість використання їх у якості конструкційного матеріалу для робочих стінок кристалізаторів. Показано, що мідь вогневого рафінування є перспективним конструкційним матеріалом і може розглядатися як вихідний при виготовленні плит для робочих стінок прямокутних кристалізаторів, що використовують при неперервному розливанні металів. У разі виготовлення робочих стінок кристалізатора з рафінованої міді інтенсивність тепловідведення залишається практично на тому ж рівні, що й для катодної міді. Дослідження показали, що у рафінованої міді температура початку рекристалізації приблизно на 45 °С вище, ніж у катодної, що слід пов'язувати з наявністю в її складі певної кількості срібла, нікелю та олова, які є у розплаві як супутні елементи. При цьому основні показники міцності та пластичності рафінованої міді знаходяться приблизно на тому ж рівні, що й у катодної.

**Ключові слова:** мідь, вторинні матеріали, вогневе рафінування, домішки, електропровідність, теплопровідність, механічні властивості, окислення, тепловідведення, матеріал для кристалізатора.

УДК 621.791.75.052:669.15: 620.18

Савонов Ю.М., канд. техн.наук, доцент

Івахненко Є.І., канд. техн. наук, доцент

Калінін Д.І., студент

Національний університет «Запорізька політехніка», [odyssey204@gmail.com](mailto:odyssey204@gmail.com)

## ЗВАРЮВАНІСТЬ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ФЕРИТО АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

В якості конструкційного матеріалу для виготовлення зварного устаткування на хімічних заводах застосовується аустенітна хромонікелева сталь 12X18Н10Т. Однак, вона піддана різним корозійним руйнуванням: виборча корозія металу шва, ножова, лужна, піттингова, розтріскуванню під напругою. Це приводить до передчасного виходу устаткування з ладу і простою технологічних ліній.

У цьому зв'язку, перспективним є використання двофазних ферито-аустенітних сталей, таких як 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т, 12X21Н5Т та ін. Ці сталі мають сукупність властивостей, притаманних як аустенітним, так і феритним сталям: гарною зварюваністю, технологічністю, високою стійкістю проти міжкристалитної, піттингової корозії, корозійного розтріскування під напругою. Застосування двофазних сталей дозволяє зменшити споживання нікелю на 40-50 %, збільшити довговічність устаткування, зменшити витрати на його ремонт.

Зростання зерен ферита в зоні термічного впливу зварних з'єднань двофазних аустенітно-феритних сталей, які виконані аустенітними електродними матеріалами знижує пластичні властивості зварного з'єднання в цілому. Однак, у зв'язку зі значною відмінністю коефіцієнтів лінійного розширення сталі 8X22Н6Т та 08X18Н10Т, проводити термічну обробку зварних з'єднань небажано, через можливість появи додаткових напружень у наплавленому металі.

Наявність у структурі ферито-аустенітних сталей одночасно двох фаз визначає особливості структурних перетворень, що відбуваються в зоні термічного впливу цих сталей під впливом термічного циклу зварювання.

Внаслідок короткочасності перебування навколошовної зони при високих температурах повне перетворення  $\gamma$ -а не відбувається, у металі зберігається деяка кількість аустеніту. Збільшення обсягу феритної фази супроводжується, при цьому, ростом розмірів його зерна і, як наслідок, зниженням ударної в'язкості. Розмір зерна і кількість ферита, а також ширина зони перегріву залежать від погонної енергії зварювання, співвідношення кількості структурних складових у початковому стані і від вмісту вуглецю в сталі, що визначає чутливість її до перегріву.

Інтенсивне зростання зерен ферита у двофазних сталях відбувається протягом 1...3 с (в інтервалі температур 1100...1350 °С). Подальше збільшення витримки практично не впливає на розмір зерна. Тому, повнота  $\gamma$ -а перетворення обумовлюється тільки максимальною температурою нагрівання і мало залежить від часу витримки.

Розмір зерна зростає з підвищенням питомого тепловкладання при зварюванні сталі 0X21Н5Т до 2500 кДж/м. При величинах тепловкладання, більших ніж 2500 кДж/м спостерігається гальмування і дроблення зерна по всій зоні термічного впливу внаслідок інтенсивного утвору вторинного аустеніту у вигляді голок, які перетинають і дроблять матрицю феритного зерна [1].

Однак, враховуючи, що метал зони термічного впливу перебуває в інтервалі температур інтенсивного зростання зерна ферита 1100...1400 °С досить значний час, запобігти росту зерна практично неможливо. Тому, при виборі і обґрунтуванні способу і режимів зварювання, необхідно виходити з умови забезпечення мінімальної ширини ділянки крупного зерна в зоні термічного впливу, тобто зварювання вести з помірними погонними енергіями.



Кількість вторинного аустеніту залежить від часу витримки при високих температурах. Такий же ефект досягається при зменшенні швидкості охолодження металу зони термічного впливу до  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  в інтервалі температур  $950\dots 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином, є можливість регулювання фазового складу і властивостей металу зони термічного впливу зварних з'єднань двофазних аустенітно-феритних сталей шляхом застосування електродних матеріалів аустенітно-феритного класу і режимів зварювання з малими погонними енергіям, або застосовуючи зварювання при підвищених погонних енергіях зі штучним охолодженням зони термічного впливу по спеціальному режиму.

#### Список посилань

1. Савонов Ю.М. Вплив погонної енергії на корозійну стійкість зварених з'єднань аустенітно-феритних сталей типу 12Х21Н5Т / Ю.М. Савонов, О.Г. Александров, В.М. Рубан. //Автоматичне зварювання. – 1987. – №9. – С.45-47.

УДК 623.4.01+620.22+620.1.08

Гончарук В.А., ст. наук. співробітник, канд. фіз.-мат. наук

Єфімов М.О., зав. відділу, канд. фіз.-мат. наук

Гончарова І.В., ст. наук. співробітник, канд. фіз.-мат. наук

Поперенко Т.В., головний технолог

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ,  
i.goncharova@ipms.kyiv.ua

### ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ ПРОБИТТЯ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИСОКОМІЦНИХ СПЛАВІВ АЛЮМІНІЮ

Загально відомо, що критична швидкість пробиття  $V_{cr}$  (для конкретного типу кулі) є найважливішою характеристикою захисних елементів, тому її точне визначення має особливо важливе значення. Процес пробиття мішені має багато спільного із процесом індентування матеріалу жорстким індентором. На основі уявлень про процес індентування та експериментальних результатів нами вирішено завдання розрахунку критичної швидкості пробиття  $V_{cr}$  матеріалу мішені (для випадку недеформованого індентора).

Рівняння руху індентора в напівнескінченному середовищі має вигляд:

$$\rho_p L \frac{du}{dt} = -\frac{1}{2} \rho_t u^2 - R, \quad u(0) = u_s, \quad (1)$$

де  $\rho_p$  – щільність матеріалу кулі,  $\rho_t$  – щільність матеріалу мішені,

$L$  – довжина кулі,

$u$  – швидкість кулі в довільний момент часу,  $u_s$  – початкова швидкість кулі,

$R$  – опір середовища (матеріалу мішені) проникненню кулі,  $t$  – час.

Це рівняння є окремим випадком рівняння В. П. Олексіївського, якщо припустити ударник недеформованим. Вирішив це рівняння отримуємо значення критичної швидкості пробиття  $V_{cr}$ :

$$V_{cr}^2 = \frac{2R}{\rho_t} \cdot (e^{\alpha} - 1), \quad (2)$$

де  $\alpha = \frac{\rho_t h_t}{\rho_p L_p}$ .

Для пружно-ідеально пластичного матеріалу опір проникненню  $R$  може бути оцінений за Хіллом [1]:

$$R = \frac{2}{3} Y \left( 1 + \ln \left( \frac{E}{3Y(1-\nu)} \right) \right), \quad (3)$$

де  $Y$  – границя плинності матеріалу мішені,  
 $E$  – модуль Юнга,  
 $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

У роботі [2] було показано, що при оцінці опору матеріалу проникненню індентора слід враховувати характеристику пластичності  $\delta_H$ , що визначається при індентуванні. Добуток  $R \cdot \delta_H$  дозволяє виділити частину опору, пов'язану із пластичною деформацією матеріалу при проникненні кінетичного індентора. Для оцінки  $R$  ми використовуємо уточнену формулу, яка дає кращий збіг теорії та експерименту:

$$R = \frac{2}{3} Y \left[ 1 + \ln \left( \frac{E}{3Y(1-\nu)} \right) \right] \cdot \delta_H \quad (4)$$

Результати теоретичних розрахунків та динамічних випробувань мішені з алюомігнієвого сплаву з використанням 2 типів інденторів (№1 – діаметром 7,5 мм та довжиною 27,4 мм та №2 – діаметром 12,5 мм та довжиною 43,5 мм) наведено на рис.1 .

Порівняльний аналіз розрахунку та експериментальних значень критичної швидкості пробиття  $V_{cr}$  виявив гарну кореляцію результатів.

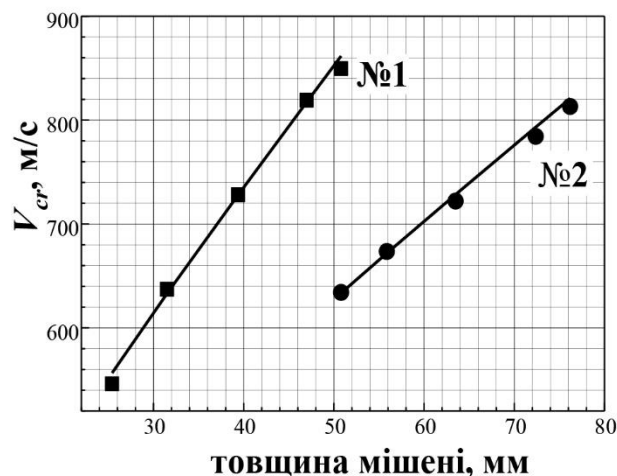


Рис. 1 – Залежність критичної швидкості пробиття  $V_{cr}$  від товщини мішені зі сплаву типу 5083 (Al-4,5Mg-0,8Mn-0,25Zn-0,15Ti-0,4Fe-0,4Si) для інденторів №1 та №2. (Точками позначені експериментальні данні, лінії отримані розрахунком)

Таким чином, на основі аналітичного підходу отримана розрахункова формула для визначення критичної швидкості пробиття захисних елементів для конкретного типу ударника.

На прикладі високоміцних алюмінієвих сплавів експериментально показано, що точність розрахунку (відносно відхилення між розрахунковими і експериментальними значеннями) не перевищує 2 %.

Використання розробленої методики оцінки критичної швидкості пробиття значно спрощує та прискорює процес конструювання захисних елементів, завдяки суттєвому зменшенню кількості експериментальних випробувань.

#### Список посилань

1. Hill, R. The Mathematical Theory of Plasticity [Текст] / R. Hill – Oxford; Calderon Press, 1985. – 355р.

2. Milman, Yu. V. Physics of deformation and fracture at impact loading and penetration [Текст] / Yu. V. Milman, S. I. Chugunova, I. V. Goncharova, V. A. Goncharuk, N. A. Yefimov // International Journal of Impact Engineering. – Vol.33. – P. 452 – 462. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2006.09.058>

УДК 534+53.082;53.023

**Гончарук В.А.,** ст. наук. співробітник, канд. фіз.-мат. наук  
**Єфімов М.О.,** зав. відділу, канд. фіз.-мат. наук  
**Цивіліцин В.Ю.,** наук. співробітник  
**Поперенко Т.В.,** головний технолог

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ,  
victuar@ukr.net

## ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ В КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Мета дослідження є створення методики контролю механічних властивостей методом вимірювання акустичної емісії (АЕ) керамічних матеріалів в процесі інденування, тобто практично без руйнації зразка.

Досліджували реакційно-спечені карбідокремнієві матеріали різного фракційного складу: монфракційний SiC (M5 = розмір зерна 5 мкм), поліфракційний SiC (40% M100 + 40% M28 + 20% M10), в яких зміст вільного Si становив ~ 10%. Для порівняння були досліджені зразки твердих сплавів WC-Co (А: 94% WC + 6% Co та В: 90,5% WC + 2,5% TaC + 7% Co) з середнім розміром зерна WC = 1,2 мкм і алюмінієвий сплав з добавками Zn, Mg, Cu, Mn, Zr і Sc (типу В96Ц1). Інденування проводили на макротвердомірі Віккерса із записом зміни зусилля на інденатор в часі при максимальному навантаженні  $P = 50$  Н та 100 Н. Швидкість навантаження становила 0,4 Н/с. Акустична емісія реєструвалася за допомогою модернізованої системи збору і обробки даних методом АЕ [1]. П'єзодатчик мав робочу смугу частот 200 - 500 кГц і коефіцієнт перетворення  $1,6 \times 10^9$  В/м. Загальне посилення сигналу становило 75 дБ. На зразки, з відомою межею міцності  $\sigma_p$ , наносили по 5 відбитків твердості, АЕ реєстрували у процесі кожного акту інденування.

Для всіх досліджених матеріалів встановлена взаємно однозначна залежність між середньою для даного зразка величиною  $\Sigma U$  (сумарною амплітудою АЕ протягом усього акту інденування з моменту початку навантаження аж до максимального навантаження  $P_{max}$ ) і  $\sigma_p$ , що досить точно апроксимується в логарифмічних координатах лінійними рівняннями (див. рис. 1):

$$\sigma_p = A \pm B \cdot \ln \Sigma U \quad (1)$$

Спостерігається істотне розходження в характері залежностей  $\sigma_p$  від величини  $\Sigma U$  для SiC та інших матеріалів. Так для SiC, який руйнується крихко, при навантаженні відбувається утворення і зростання мікротріщин, про що свідчать зареєстровані сигнали АЕ. Чим більше величина  $\Sigma U$  при даному рівні напруження зразку, тим інтенсивніше йдуть процеси утворення і зростання дефектів і, тим нижче є  $\sigma_p$  цього зразка. Тобто спостерігається повна аналогія зі згином [2]. Бо при згині при однаковому навантаженні на інденатор  $P$ , однаковою твердістю зразків  $HV$  в межах однієї партії напруження під інденатором  $\sigma_p$  також однаково ( $\sigma_p = HV = \text{const}$ ) і це означає, що параметр  $\Sigma U$  фіксувався при  $\sigma_p = \text{const}$ , тобто як і при згині. Для WC-Co і Al сплавів ситуація відрізняється, так ймовірно, що для них АЕ в значній мірі може бути обумовлена пластичною деформацією, а не руйнуванням.

Наведені експериментальні залежності на рис. 1 дозволяють здійснювати оцінку межі міцності  $\sigma_p$  методом вимірювання АЕ при інденування, але теоретичне обґрунтування ходу залежностей  $\sigma_p = f(\Sigma U)$  потребує додаткового дослідження.

Точність оцінки межі міцності конкретного зразка за розрахунком по рівнянню (1) в 5-6 разів точніше, ніж при традиційній оцінці з вибіркового середнього.

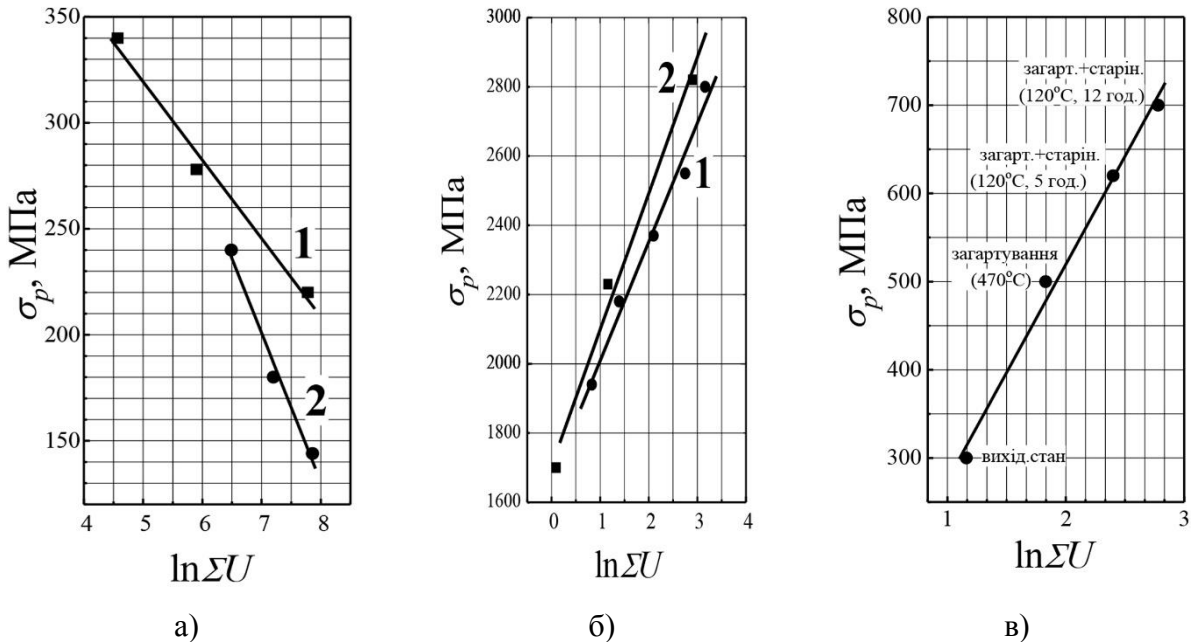


Рис. 1 – Залежність межі міцності зразка  $\sigma_p$  від величини середньої сумарної амплітуди  $\Sigma U$  при інденуванні:

- а) SiC кераміка: 1 – M5  $A = 504$  МПа,  $B = 37$  МПа та 2 – M100+M28+M10  $A = 692$  МПа,  $B = 70$  МПа;  $P_{max} = 50$  Н;
- б) тверді сплави WC – Co: 1 – 94% WC + 6%Co  $A = 1665$  МПа,  $B = 343$  МПа та 2 – 90,5% WC + 2,5%TaC + 7%Co  $A = 1705$  МПа,  $B = 393$  МПа;  $P_{max} = 50$  Н;
- в) Al сплав типу В96Ц1  $A = 29$  МПа,  $B = 245,3$  МПа;  $P_{max} = 100$  Н

Таким чином, в результаті проведених досліджень була розроблена методика неруйнівного контролю величини межі міцності  $\sigma_p$  крихких матеріалів за величиною сумарної амплітуди АЕ в процесі інденування.

Було продемонстровано придатність запропонованої методики як для крихких так і для пластичних матеріалів та показано принципову відмінність в характері залежностей їх межі міцності  $\sigma_p$  від сумарної амплітуди АЕ  $\Sigma U$ .

Точність оцінки межі міцності  $\sigma_p$  за запропонованою методикою становить близько 4 %, що в 5-6 разів вище, ніж при традиційній статистичній оцінці за середнім вибіркоким значенням.

#### Список посилань

1. Мильман, Ю.В. Изучение механических свойств керамики методом акустической эмиссии [Текст] / Ю.В.Мильман, В.А.Гончарук, В.В.Данилов // Polish Ceramic Bulletin, Ceramics 45. – 1994. – Vol.7. – P. 197-210.
2. Мильман, Ю.В. Акустическая эмиссия в керамических материалах на основе нитрида и карбида кремния при изгибе [Текст] / Ю.В. Мильман, Ю.Г. Гогоци, В.А. Гончарук // Доповіді НАН України. – 2001. – №11. – С.68-74.

УДК 621.79.01

**Панчук М.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Шлапак Л.С., докт. техн. наук, професор**  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ztk@nung.edu.ua  
**Гринюк Н.М., комерційний директор**  
Підприємство МОТ, juliashumeiko33@gmail.com  
**Овсяников В.В., технічний директор**  
НВП “УКРТРУБІЗОЛ”, tehdir@uti.ua

## **НОВІ ПІДХОДИ В ІНДУСТРІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЛАСТМАСОВИХ ТРУБ**

Використання пластмасових труб для транспортування вуглеводнів і водопостачання призвело до корінних змін в сфері будівництва трубопроводів у всьому світі. В більшості країн понад 90% трубопровідних розподільних систем, які здаються в експлуатацію, виготовлені з пластмасових матеріалів. І це - закономірний результат тих вагомих переваг, якими володіють полімери порівняно з традиційними матеріалами.

У 2022 році обсяг ринку пластмасових труб оцінювався в 12 мільярдів доларів США. На кінець 2023 року він склав - 25 мільярдів доларів, а до 2030 року за різними прогнозами зросте до 40 мільярдів доларів [1]. Збільшення попиту в нафтогазовому сегменті, для промислових і побутових цілей, а також постійно зростаюча кількість різноманітних трубопровідних проектів стимулює виробництво пластикових труб і є ключовими чинниками, що сприяють зростанню ринку в цілому.

На даний час передові підприємства витрачають значні кошти на проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських розробок з метою розширення своїх продуктивних лінійок, що сприятиме подальшому збільшенню об'ємів виробництва та асортименту пластмасових труб. Вони також вживають низку стратегічних ініціатив для розширення своєї присутності в усьому світі, а ключовими подіями на ринку є запуск нових продуктів, укладання контрактів, збільшення інвестицій та співпраця з суміжними організаціями. Надзвичайно велика конкуренція в галузі виробництва пластмасових труб спонукає до виробництва якісної, економічно ефективною та екологічно чистою продукцією.

Основними етапами виробництва пластмасових труб і фітингів є процеси нагрівання, розплавлення, змішування, надання сировині певної форми та утримання цієї форми під час процесу охолодження. Це необхідно для виробництва труб із суцільною та профільною стінкою, а також компресійних та литих під тиском фітингів.

Разом з тим перешкоди, з якими стикаються компанії у сфері будівництва та виробництва, такі як неефективне використання сировини, низька продуктивність обладнання, значні капітальні витрати та високі витрати на транспортування та виконання монтажних робіт, заважають розвитку ринку.

Враховуючи перелічені недоліки, пропонується нова парадигма в індустрії пластмасових трубопроводів – виробництво їх на місці використання. Процес виробництва труб може бути налагоджений у вигляді мобільних модульних виробничих одиниць.

Нова технологія усуває ризик транспортування труб великої довжини, водночас забезпечуючи переваги сталого розвитку за рахунок скорочення вантажопотоку. Рішення має на меті забезпечити революційні характеристики методу: підвищену продуктивність, зменшення використання сировини, скорочення витрат на транспортування та монтаж і таким чином покращити ефективність по всьому ланцюжку створення вартості. За цього мобільні заводи можна переміщувати в стратегічно важливі місця, що забезпечує більшу гнучкість порівняно з традиційними способами виробництва.

### **Список посилань**

1. Global Plastic Pipes Market Overview. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/plastic-pipes-market-7619>.

УДК 621.791.92

Панчук А.М. студент

Панчук М.В. канд. техн. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [ztk@nung.edu.ua](mailto:ztk@nung.edu.ua)

Олексієнко С. В. канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», [sv.oleks@ukr.net](mailto:sv.oleks@ukr.net)

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Використання лазерів у промислових процесах почалося відносно недавно. Існує багато методів обробки металів за допомогою лазерних технологій. Одним з основних завдань при виготовленні деталей і вузлів машин є отримання якісного з'єднання, яке в кінцевому підсумку визначає надійність всієї конструкції.

За останні 30 років лазерні технології пройшли шлях від лабораторних експериментів до промислового застосування. В даний час на підприємствах працюють десятки тисяч одиниць лазерного обладнання. Широко використовуються такі технологічні процеси, як лазерне маркування та лазерне різання. За цього роль лазерного зварювання для провідних галузей виробництва постійно зростає.

Лазер як джерело нагрівання характеризується такими технологічними властивостями: висока концентрація енергії в промені, висока точність його фокусування, практично без інерційне управління потоком теплової енергії, що дозволяє підвищити швидкість і точність обробки матеріалів і повністю автоматизувати процес, а також дає можливість виконання операцій у важкодоступних місцях. Лазерний промінь як технологічний інструмент не має собі рівних за ступенем гнучкості, швидкості і довговічності.

Однак ефективне застосування лазерів для зварювання, залежить від вирішення низки проблем, до яких відносяться необхідність проектування якісних і продуктивних процесів, що відповідають вимогам механізації та автоматизації, а також отримання якісних та надійних зварних з'єднань. Ефективність промислового використання зварювальних лазерів залежить від вирішення низки технічних і технологічних питань.

У зварювальному виробництві для виготовлення металоконструкцій використовують різні типи зварних з'єднань. Застосування зварних з'єднань з вільним формуванням шва (без підкладки) є найвигіднішим, а іноді і єдино можливим методом для великої кількості зварних конструкцій, виходячи з їх технологічних, економічних і експлуатаційних характеристик. Такі з'єднання прості у виконанні і мають меншу трудомісткість у виробництві, оскільки виключають необхідність проведення процесу зварювання з двох сторін, не створюють труднощів при підготовці до зварювання у вигляді обробки кромки складної форми, а також збільшують ймовірність покращення експлуатаційних характеристик зварного з'єднання і металоконструкції в цілому.

Основним недоліком односторонніх зварних з'єднань є низька стабільність якісного формування шва. За цього важливими є його форма і розміри, а ефективне формування шва і відсутність дефектів визначають надійність і якість всього зварного з'єднання в цілому. Тому в більшості випадків перевага віддається дорожчим і конструктивно складним зварним з'єднанням з гарантованим проплавленням. До таких з'єднань відносяться двосторонні зварні шви, з'єднання з проплавленням кореня шва, з'єднання з примусовим формуванням кореня шва на опорній пластині, напускові з'єднання тощо.

Недоліками цих з'єднань є необхідність використання додаткових конструктивних елементів (підкладок), збільшення металоємності конструкції і трудомісткості складально-зварювальних робіт, ускладнення конструкції зварних з'єднань і технологічного процесу зварювання [1].

Використання в з'єднанні різних типів підкладок і вставок в більшості випадків значно погіршує експлуатаційні характеристики зварних з'єднань, створює умови для утворення в

них тріщин і зменшує ефективний переріз конструкцій. Досить часто через нещільне або нерівномірне прилягання кромки, що зварюються до підкладок - різко змінюються умови тепловідведення від стику і в зварному шві з'являються дефекти.

Таким чином актуальним завданням є забезпечення формування однопрохідного шва з високою якістю і стабільністю характеристик, в односторонніх з'єднаннях, що допоможе усунути ряд обмежень на їхнє використання в зварних конструкціях, та дозволить використовувати з'єднання простішої конструкції. Такі з'єднання е потребують великих додаткових і складних зусиль, а, отже, можна знизити трудомісткість і вартість робіт та забезпечити високу якість з'єднання. Таке завдання на нашу думку можна вирішити шляхом використання лазерного зварювання.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених лазерному зварюванню, питання ефективного використання цього методу залишається актуальним і сьогодні.

З моменту впровадження лазерних технологій в більшості випадків використовувалися CO<sub>2</sub>-лазери, потужність яких сягає десятків кіловат. Недоліками газових лазерів є високий коефіцієнт відбивання випромінювання від поверхні будь-якого металу та їх невеликий коефіцієнт корисної дії. Наприклад, для лазера потужністю 5 кВт, що забезпечує зварювання сталей товщиною 5 мм, споживана потужність становить 100 кВт.

Після появи на ринку волоконних лазерів потужністю до десятків кіловат у цьому сегменті ринку почали відбуватися значні зміни. Це пов'язано з тим, що досягнуті показники потужності дозволяють зварювати матеріали товщиною до 30 мм. Завдяки високому коефіцієнту корисної дії істотно знизилася енерговитрати, спростилося обслуговування систем, зменшилися їхні габаритні та масові параметри.

Волоконні лазери мають надзвичайно високий оптичний коефіцієнт підсилення. Вони здатні генерувати кіловат безперервної вихідної потужності. Волоконні лазери мають коефіцієнт перетворення потужності 30-50% порівняно з 10-15% у CO<sub>2</sub>-лазерів, що дає їм явну перевагу з точки зору енергетичної ефективності.

Процес лазерного зварювання може відбуватись у двох основних режимах – безперервному та імпульсному. Варто відмітити, що волоконний лазер це тип лазера, який використовує оптичні волокна для посилення і передачі лазерної енергії. Волоконні лазери виробляють висококонцентрований і сфокусований лазерний промінь, що забезпечує його високу ефективність. Саме ця характеристика має вирішальне значення для отримання точних і контрольованих зварних швів, як за геометричними розмірами так і за механічними властивостями.

Використання лазерних волоконних установок має ряд технологічних переваг. Вони не потребують спеціальних умов роботи, тому можуть розміщатися у звичайних робочих приміщеннях цехів. Компактність установок зумовлена тим, що їх можна встановлювати в зручному для роботи місці, навіть якщо це місце розташовується на значній відстані від зони зварювання деталей. Для волоконних зварювальних апаратів не має необхідності проводити складні операції для технічного обслуговування – такі, як спеціальне налаштування, юстування, чищення тощо. Конструкція скляних лінз установок дозволяє зменшити витрати на систему фокусування.

Високі характеристики волоконних лазерних систем дають можливість виконувати зварні шви високої стабільної якості, особливо в односторонніх з'єднаннях, що зможе зняти ряд обмежень щодо їх використання в зварних конструкціях, а також дозволить застосовувати з'єднання більш простої конструкції, які не потребують великих додаткових трудовитрат, а відповідно знизити трудомісткість і вартість робіт.

#### Список посилань

1. M. Panchuk, O. Matviienkiv, L. Shlapak, M. Szkodo, W. Kielczynski, A. Panchuk. Aumento de calidad en uniones soldadas de estructuras de paredes delgadas mediante modelo de simulación. Revista de Metalurgia, 55(4):158 December 2019.

УДК 621.317

Панчук Т.М., студент  
Університет Короля Данила, м. Івано-Франківськ, [panchuk773@gmail.com](mailto:panchuk773@gmail.com)

Солярчук І.М. студент

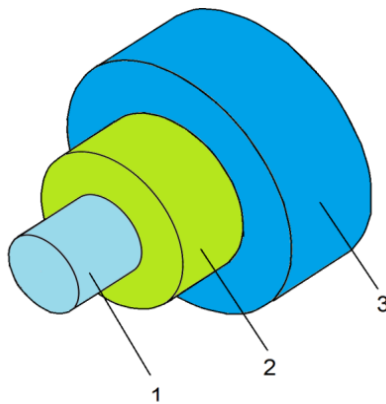
Панчук М.В. канд. техн. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [ztk@nung.edu.ua](mailto:ztk@nung.edu.ua)

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Оптичні волокна є символом науково-технічної революції в сучасних засобах передачі інформації. На сьогоднішній день на планеті прокладено сотні мільйонів кілометрів оптичних волокон. Кожні два роки передача даних подвоюється, що означає 1000-кратне збільшення за останні 20 років [1].

Оптичне волокно складається зі серцевини, через яку проходить оптичний сигнал, оболонки та обшивки (рис. 1).



1 – серцевина, 2 – оболонка, 3 – обшивка

Рис. 1 – Структура оптичних волокон

Серцевина, як правило, виготовляється зі скла або полімерного матеріалу. Ця частина кабелю є середовищем, через яке поширюється світло. Оболонка, як правило, виготовляється з матеріалу, що має дещо менший показник заломлення (зазвичай приблизно на 1% нижче). Зміна показника заломлення викликає повне внутрішнє відбиття на межі розділу з облицюванням. В результаті світлова хвиля поширюється через серцевину, а не витікає через бокові стінки. Третій і зовнішній шар зазвичай складається з одного або декількох шарів пластмасового матеріалу для захисту від навколишнього середовища.

Оптичне волокно має багато переваг над коаксіальним кабелем для передачі радіочастотних сигналів в антенних системах, а також в мережах стільникового зв'язку і розподільчих мережах кабельного телебачення. В свою чергу мідні кабелі мають перевагу в таких підходах як сумісність з електронним обладнанням, оскільки вони були розроблені та впроваджені раніше. Разом з тим останні інновації у волоконно-оптичних технологіях змушують обирати їх як новий підхід у системах зв'язку.

Завдяки своїм унікальним властивостям оптичні волокна мають широке використання. Особливості їхнього використання визначаються матеріалом серцевини. У випадку застосування серцевини, виготовленої з кварцу такі волокна здатні передавати оптичний сигнал з мінімальними втратами (0,19 – 0,25 дБ/км) на великі відстані - у кілька сотень кілометрів, тоді як волокна, серцевина яких виготовлена з полімерних матеріалів мають більші втрати сигналу (30 – 150 дБ/км) та використовуються для менших відстаней [2].

Кварцові оптичні волокна широко використовуються для передачі сигналу у вигляді магістральних ліній, глобальних мереж або міжконтинентальних волоконно-оптичних



мереж. Вони також допомагають покращити ефективність конструкцій у машинобудуванні та приладобудуванні.

У сучасних автомобілях все більше уваги приділяється програмно-апаратним комплексам для управління різними системами всередині транспортних засобів. Кількість електронних пристроїв в автомобілях збільшується з кожним роком. За цього кожен об'єкт або елемент цифрового обладнання повинен бути підключений до системи, що призводить до експоненціального збільшення кількості комунікаційних кабелів у транспортному засобі. Потреба в повсюдному підключенні створює величезні проблеми при проектуванні мережевих систем для транспортного засобу як з точки зору фізичного простору, так і з точки зору навантаження на систему.

Пропускна здатність полімерних оптичних волокон (порівняно з традиційними автомобільними кабелями), простота використання в поєднанні зі стійкістю до вигинів, вібрацій і зовнішніх збурень, а також електромагнітна сумісність роблять їх ідеальними матеріалами для доповнення вбудованих мультимедійних систем автомобілів. Завдяки своїм унікальним властивостям вони можуть використовуватися в складних умовах експлуатації автомобілів без втрати комунікаційних можливостей. На основі полімерних оптичних волокон розробляються спеціальні протоколи для автомобільних ліній зв'язку, наприклад, MOST, тобто Media Oriented Systems Transport.

Пристрої з полімерних оптичних волокон, що застосовуються в охороні здоров'я окрім стійкості до електромагнітних полів мають додаткові переваги завдяки таким властивостям матеріалу, як висока гнучкість, нижчий модуль Юнга, вищі межі пружності, ударостійкість та сумісність з біологічними та медичними матеріалами. Важливою особливістю полімерних оптичних волокон є їх здатність до біологічного розкладання. Біологічно розкладні оптичні волокна розширюють сферу застосування, відкриваючи нові шляхи в біомедицині. Крім того, пористі полімерні волокна можна використовувати для локальної доставки ліків при лікуванні важких захворювань.

Дослідження і розробки інтелектуальних систем і додатків для охорони здоров'я, були мотивовані необхідністю успішного реагування на виклики пов'язані з скороченням витрат, збереженням високої якості обслуговування, забезпеченням широкого доступу до медичної допомоги. Програми охорони здоров'я є досить актуальними для робітників, які працюють у складних умовах, у тому числі спортсменів.

Фізіологічний моніторинг за допомогою системи Інтернету медичних речей (ІоМТ) здебільшого передбачає вимірювання життєво важливих показників пацієнта, таких як частота серцевих скорочень, частота дихання, температура шкіри тощо. За цього цілком можливо інтегрувати сенсори, наприклад, у спеціальний одяг. Полімерні оптичні волокна можна інтегрувати з звичайними нитками і, таким чином, забезпечити тепловий комфорт, порівнянний зі стандартним одягом. Така інтеграція позитивно впливає на тертя шкіри, що є важливим аспектом.

Актуальною проблемою сьогодення є впровадження систем відновлюваної енергетики. Оптичні волокна можуть бути використані в системах автоматизації технологічного обладнання, станційних інформаційних мережах, для моніторингу навколишнього середовища, а також контролю стану обладнання. Також важливою та екологічно актуальною проблемою є можливість додаткової подачі природного світла в різні приміщення за допомогою оптичних волокон.

Таким чином можна зробити висновки про зростаючі перспективи використання оптичних волокон у різних аспектах функціонування суспільства. Вони значно змінили на краще телекомунікаційну галузь, шляхом реалізації набагато більшої швидкості передачі даних на значно більших відстанях з меншими втратами. У сфері транспорту, оптичні волокна стають основою для виведення автомобіля на новий, значно вищий якісний рівень.

В галузі охорони здоров'я вони відкривають нові шляхи та допомагають подолати існуючі бар'єри в системі охорони здоров'я.

#### Список посилань

1. Panchuk, M., Panchuk, A., Szkodo, M., Stanislawska, A., Prunco, I. Polymer Optic Fibers: Potential of Development and Application in Networks 2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies, 3ICT 2022, 2022, pp. 98–105.

УДК 621.791.72

**Кушнар'ова О.С., канд. техн. наук**  
**Берднікова О.М., докт. техн. наук**  
**Половецький Є.В., канд. техн. наук**  
**Алексєєнко І.І. молод. наук. співробітник**  
**Кушнар'ова Т.М., наук. співробітник**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, olgakus@meta.ua

### СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ

Підвищення ресурсу штампового інструменту, що працює в умовах високих температур, періодичних теплових змін і ударних навантажень актуально. Відомо, що матеріали з нанокристалічною структурою мають більш високі характеристики міцності й теплостійкості [1]. Але виробництво таких матеріалів у великих обсягах, у цей час, проблематично. Враховуючи, що інструмент, як правило, працює поверхнею, ми пропонуємо використовувати імпульсно-плазмову обробку (ІПО) поверхні для формування робочого шару з нанокристалічними структурами [2]. Такі структури сприяють зміцненню поверхні та підвищенню працездатності виробів [3, 4].

У даній роботі представлені результати досліджень поверхневих шарів інструментальної штампової сталі 4Х5МФ1С (після попередньо термічної обробки – гартування та відпуск) із застосуванням двох варіантів імпульсно-плазмової обробки (ІПО) з прямою дією імпульсно електричного розряду: режим I – відстань від плазмотрону до зразка 50 мм; режим II – 55 мм. Імпульсно-плазмова обробка виконувалась в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ у відділі «Нових фізико-хімічних способів зварювання».

Комплексними дослідженнями, що включають світлову мікроскопію (мікроскоп Versamet-2), аналітичну растрову (SEM-515, фірми PHILIPS, Нідерланди) і просвічувальну електронну мікроскопію (JEM-200СХ, фірма JEOL, Японія) вивчено структурно-фазові перетворення, зеренну та субзеренну структури, щільність дислокацій тощо.

В результаті ІПО штампової сталі 4Х5МФ1С при режимі I на поверхні металу формується тонкий шар глибиною до 2 мкм. На глибині от 2 до 40 мкм відбувається утворення зміцненого шару з дисперсною (розмір зерен  $D_z = 1...5$  мкм) структурою дрібногочастого загартувального мартенситу (М, 40%), залишкового аустеніту (А, 50%) та виділеннями карбідних фаз (10%). Це сприяє рівномірному по глибині обробки збільшенню мікротвердості (HV) до 5700 МПа, що в 1,5 рази більше HV основного металу. При використанні режиму II (тобто в умовах зменшення теплового потоку) в оброблених поверхнях спостерігається: відсутність шару оплавлення; зменшення товщини зміцненого шару (до 25 мкм) при зменшенні HV в обробленій поверхні (на 18%) в порівнянні зі зразком, обробленим на режимі I.

Дослідження тонкої структури виявило, що при ІПО поверхні на режимі I по глибині до 40 мкм спостерігається: в зернах залишкового аустеніту подрібнення субструктури, порівняно рівномірне підвищення щільності дислокацій ( $\rho \sim 8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ), формування

разорієнтованої блочної структури, а також в мартенситних зернах подрібнення субструктури (в 2 рази по зрівнянню з основним металом) при  $\rho \sim 2 \cdot 10^{11} \text{см}^{-2}$  (рис. 1, а, б). У внутрішніх об'ємах аустеніту виявлені також дрібнодисперсні карбіди типу  $\text{Me}_6\text{C}$  по всій глибині обробленої поверхні. При ППО на режимі II відбувається зменшення щільності дислокацій, збільшення об'ємної доли структур відпуску (субструктура, блоки) (рис. 1, в, г). При цьому, характерна рівномірна зміна параметрів тонкої структури до аналогічних значень в основному металі, де  $\rho \sim 10^{10} \text{см}^{-2}$ .

Таким чином, загальне диспергування структури, значне збільшення щільності дислокацій (при її відносній рівномірності - от  $8 \cdot 10^{10}$  до  $2 \cdot 10^{11} \text{см}^{-2}$ ), а також формування дрібнодисперсних карбідів ( $\text{Me}_6\text{C}$ ) будуть сприяти в оброблених поверхнях на режимі I суттєвому зміцненню поверхневих шарів. При цьому, в поверхневих шарах не спостерігаються осередки зародження та розповсюдження тріщин. Це підтверджується: відсутністю зон з різкими градієнтами по дислокаційній щільності та протяжних дислокаційних скупчень, тобто – градієнтних концентраторів локальних внутрішніх напружень. Таким чином, рівномірний характер дислокаційної структури забезпечує тріщиностійкість поверхні інструментальної штампової сталі 4X5MФ1С після ППО.

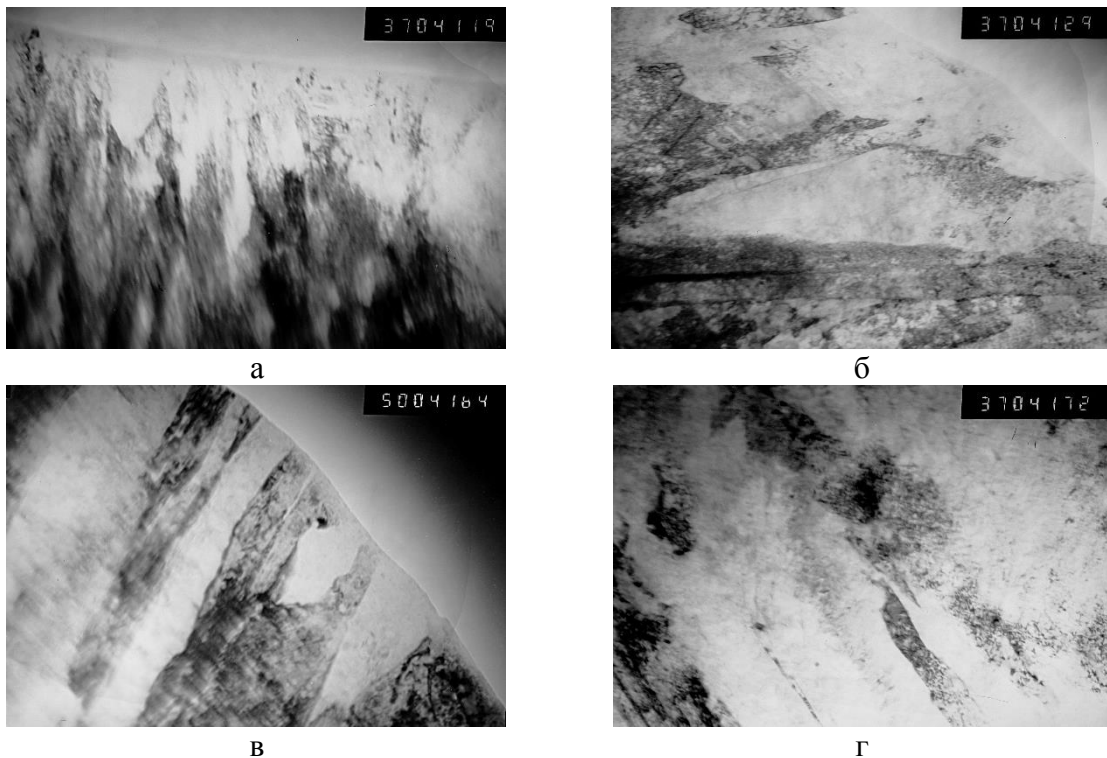


Рис.1 – Тонка (М-А) структура по глибині від обробленої поверхні сталі 4X5MФ1С після імпульсно-плазмової обробки: а – оброблена поверхня режим I ( $\times 37000$ ); б – перехідна зона ( $\delta$  від 40 до 70 мкм) режим I ( $\times 37000$ ); в – оброблена поверхня режим II ( $\times 50000$ ); г – перехідна зона ( $\delta$  від 25 до 70 мкм) режим II ( $\times 37000$ ).

#### Список посилань

1. Тюрин Ю. Н. Плазмові зміцнюючі технології / Ю. Н. Тюрин, М. Л. Жадкевич // Київ. - Наук. думка. - 2008. – с. 218.
2. Tyurin Yu N. Plasma-Detonation Technology for Modification of the Surface Layer of Metal Parts/ Yu N.Tyurin, O. V. Kolisnichenko // The Open Surface Science Journal. – 2009. - vol.1. - P.13-19.
3. Berdnikova O. Structure features of surface layers in structural steel after laser-plasma alloying with 48(WC–W2C) + 48Cr + 4Al powder / O. Berdnikova, O. Kushnarova, A. Bernatskiy, Ye. Polovetskiy, V. Kostin, M. Khokhlov // 2021 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). – 2021. - P. 1–4.

4. Berdnikova O. M. Nanoscale structures of detonation metal-ceramic coatings of the Ni-Cr-Fe-B-Si system / O. M. Berdnikova, Yu. M. Tyurin, O. V. Kolisnichenko, O. S. Kushnarova, Y. V. Polovetskiyi, Y. P. Titkov, L. T. Eremeeva // Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies. - 2022. - vol.20. iss. 1. - P. 97-109 (2022)

УДК 621.793.7.001.5

**Рутковський А.В., канд. техн. наук**

**Лопата Л.А., канд. техн. наук**

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, berguza@ukr.net

**Радько О.В., канд. техн. наук**

Національний університет оборони України, м. Львів, radlviv@ukr.net

## **ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІОННО-АЗОТОВАНИХ ШАРІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОСИСТЕМ**

Згідно теорії надійності, довговічність визначається як властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту. Довговічність - одна зі складових комплексних властивостей надійності [1, 2]. Основними показниками довговічності є середній ресурс (гама-відсотковий ресурс) та середній термін служби (гама-відсотковий термін служби) [3].

Для оцінки впливу застосування оптимізованого технологічного процесу імпульсного газотермоциклічного іонного азотування (ГТЦ ІА) на довговічність сталевих деталей авіаційної техніки (АТ) проводилося визначення математичного очікування середнього терміну експлуатації до переходу у граничний стан зміцнених експериментальних зразків зі сталі 30ХГСА. Згідно з ДСТУ 2860 – 94 під граничним станом розуміють такий його стан, за яким подальша експлуатація об'єкта неприпустима, чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе, чи недоцільне.

Випробували 20 термооброблених зразків (не зміцнених імпульсним ГТЦ ІА) та 20 зразків після термообробки (ТО) та наступного зміцнення імпульсним ГТЦ ІА. Зміцнення здійснювалося на установці ВПА-1, розробленій в Інституті проблем міцності імені Г.С. Писаренко НАН України.

Дослідження виконувалися на машині тертя [4]. Для скорочення тривалості експерименту було обрано жорсткі умови його проведення:

- питоме навантаження становило 25 МПа,
- швидкість ковзання 0,4 м/с,
- мастильне середовище – мастило ЦІАТИМ-201.

Критерієм переходу досліджуваних зразків до граничного стану є досягнення величини їхнього зносу 0,2 мм. Отже, термін експлуатації зразка  $\tau_i$  до переходу у граничний стан визначався як час від початку його роботи до досягнення величини зносу зразка значення 0,2 мм. Таку величину максимально допустимого зносу було обрано, виходячи зі встановлених у технічній документації допустимих значень цього параметру для реальних конструкційних елементів АТ зі сталі 30ХГСА. Величину зносу заміряли через кожні 10 хвилин роботи машини тертя. Значення зносу визначали, як відношення різниці у вазі зразка перед випробуваннями та після них до добутку щільності сталі 30ХГСА ( $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ ) на площу контакту зразка з контртілом.

Математичне очікування середнього терміну експлуатації зразків до переходу у граничний стан  $\bar{\tau}_j$ , яке за даних умов проведення експерименту дорівнювало їхньому середньому терміну експлуатації до заміни або середньому технічному ресурсу (згідно з ДСТУ 2860 – 94 під технічним ресурсом розуміють сумарний термін експлуатації об'єкта

від початку його експлуатації, чи відновлення після ремонту до переходу в граничний стан) визначали за формулою:

$$\bar{\tau}_i = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N},$$

де  $\tau_i$  – термін експлуатації до переходу у граничний стан  $i$ -го зразка;

$N$  – кількість досліджуваних зразків.

Результати досліджень наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 Термін експлуатації зразків до переходу в граничний стан

Зразки після ТО				Зразки після ТО + ГТЦ ІА			
№ зразка, $i$	$\tau_i$ , хв.	№ зразка, $i$	$\tau_i$ , хв.	№ зразка, $i$	$\tau_i$ , хв.	№ зразка, $i$	$\tau_i$ , хв.
1	180	11	180	1	390	11	380
2	190	12	210	2	390	12	390
3	200	13	160	3	370	13	380
4	160	14	170	4	360	14	360
5	170	15	190	5	370	15	380
6	170	16	180	6	370	16	360
7	190	17	170	7	380	17	370
8	180	18	200	8	380	18	360
9	190	19	180	9	370	19	400
10	160	20	170	10	410	20	370

Значення середнього технічного ресурсу становили 180 хв. для термооброблених без імпульсного ГТЦ ІА зразків та 377 хв. – для іонно-азотованих зразків. Середній технічний ресурс зміцнених імпульсним ГТЦ ІА зразків виявився у 2,1 рази більшим, ніж у термооброблених. Це дозволяє зменшувати витрати на експлуатацію АТ. Таким чином, підвищення довговічності зміцнених деталей АТ одна з передумов до переходу на прогресивну систему їх технічного обслуговування та ремонту, що актуальною на сучасному етапі розвитку авіації [5].

#### Список посилань

1. Соловйов В. І. Організація експлуатації авіаційної техніки. – Київ, НАОУ. 2005. – 221 с.
2. Азарсков В. М., Стрельников В. П. Надійність систем управління і автоматики. Київ, НАУ. 2004. – 164 с.
3. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860–94. Київ, Держстандарт України. 1994. – 91 с.
4. Пат. 24695 Україна МПК (2206) G01N3/56. Машина тертя. – 2007. – Бюл. №10.
5. Дерев'янку М. М. Підвищення триботехнічних властивостей сталевих деталей авіаційної техніки за допомогою газотермоциклічного іонного азотування. / Дерев'янку М. М., Мірненко В. І., Радько О. В. // *Актуальні проблеми експлуатації, ремонту, розробки та модернізації авіаційної техніки*: тези доповідей та виступів науково - практичної конференції (5–6 лип. 2007 р., Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ). – Київ, Державний науково-дослідний інститут авіації. 2007. – С. 56.

УДК 621.791.14

Махненко О. В., докт. техн. наук  
Царик Б.Р., аспірант

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, zarik01@ukr.net

**ВРАХУВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ  
ВИЗНАЧЕННІ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ ЗВАРЮВАННІ  
АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 2219-T81**

При моделюванні залишкових напружень в зварному з'єднанні при зварюванні тертям з перемішуванням (ЗТП) можуть бути розглянуті різні фактори, які будуть в тій чи іншій мірі впливати на результат. Наприклад, відведення тепла в інструмент і пристрої закріплення, тепловиділення від пластичної роботи при перемішуванні матеріалу, зміна коефіцієнту тертя від температури, жорстке закріплення елементів з'єднання, а також ефект розміщення матеріалу від зварювального нагріву. Аналіз літературних джерел показав, що при зварюванні термоміцних алюмінієвих сплавів ефект розміщення матеріалу в ЗТВ [1] може суттєво впливати на чисельний розрахунок залишкових напружень.

За результатами вимірювання твердості по Роквелу в поперечному перерізі дослідного зразка (Рис.1) було визначено, що в зоні зварного з'єднання спостерігається зона розміщення матеріалу шириною приблизно 20 мм, де характеристики твердості знижуються майже в двічі, в середньому з 70 HRB до 35 HRB. Це узгоджується зі зниженням в ЗТВ характеристик міцності матеріалу, а саме межі текучості в моделі розміщення для сплаву А2219-T81 з 350 МПа до 160 МПа.

Порівняння розрахункового розподілу максимальних температур у поперечному перерізі зварного з'єднання ЗТП пластин  $\delta=6$  мм зі сплаву А2219-T81 (рис.2) з результатами вимірювання твердості (рис. 1) показало, що ширина зони початку розміщення 40 мм відповідає температурі  $T_s=240^\circ\text{C}$ , а зона максимального розміщення на верхній поверхні шириною приблизно 20 мм і на нижній поверхні шириною 10 мм визначає температуру завершення розміщення на рівні  $T_e=450^\circ\text{C}$  нагріву матеріалу при зварюванні.

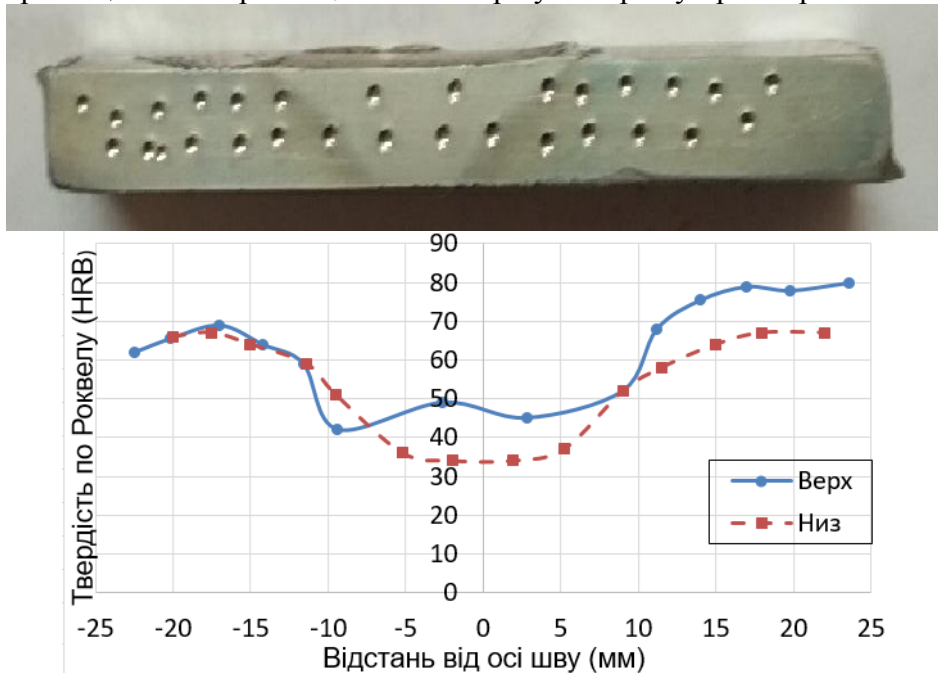


Рис. 1 – Розподіл твердості по Роквелу в з'єднанні ЗТП пластин зі сплаву А2219-T81

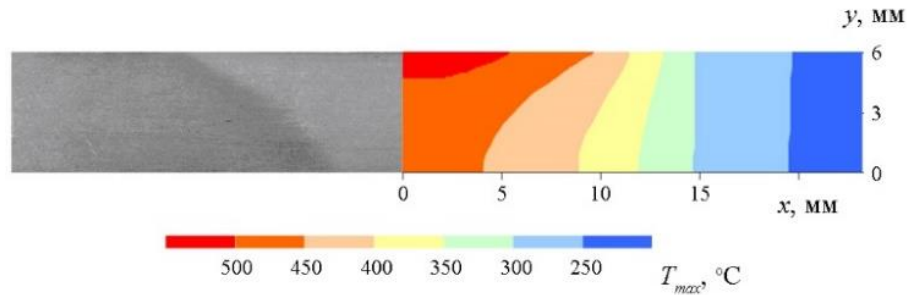


Рис. 2 – Розрахунковий розподіл максимальних температур у поперечному перерізі зварного з’єднання зі сплаву А2219-Т81 у порівнянні з формою ЗТВ на макрошліфі.

При математичному моделюванні НДС при ЗТП [2] були прийняті наступні параметри моделі розміщення матеріалу - це межа текучості розміщеного матеріалу  $\sigma_{soft}$ , а також температури початку  $T_s$  і завершення  $T_e$  розміщення. На рис. 3 представлені три варіанти моделі розміщення сплаву А2219-Т81 від температури нагріву:  $\sigma_{soft}=160$  МПа,  $T_s=240^\circ\text{C}$ , які відрізняються температурою завершення розміщення  $T_e=340^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$  і  $540^\circ\text{C}$ . Результати розрахунку показали, що це призводить до суттєвого збільшення (на 30%) максимальних залишкових повздовжніх напружень (рис. 4).

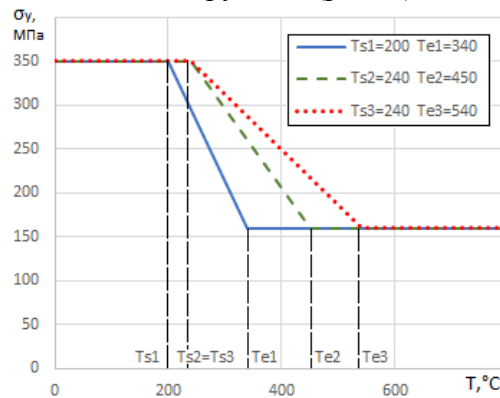


Рис. 3 – Моделі розміщення сплаву А2219-Т81 від температури нагріву

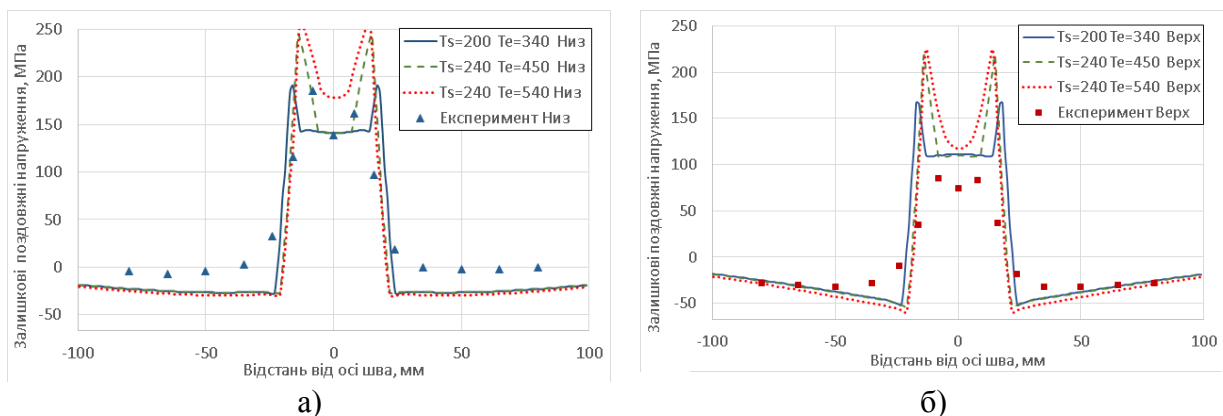


Рис. 4 – Результати моделювання розподілу залишкових повздовжніх напружень на нижній (а) і верхній б) поверхнях з’єднання ЗТП

#### Список посилань

1. А.Г. Покляцький, С.І. Мотруніч, В.Є. Федорчук, Ю.В. Фальченко, М. Сагул, Механічні властивості та структурні особливості стикових з’єднань, отриманих при ЗТП алюмінієвих сплавів різних систем легування, Журнал «Автоматичне зварювання», № 5, 2023, с. 18-26,
2. В.В. Tsaryk, О.Ф. Muzhychenko, О.В. Makhnenko Mathematical model of determination of residual stresses and strains in friction stir welding of aluminium alloy. The Paton Welding Journal – 2022. - #9. – P.33-40.

УДК 536.2; 621.791.3

Кулініч М.В., канд. техн. наук  
Косінцев С.Г., канд. фіз.-мат. наук  
Устінов А.І., докт. фіз.-мат. наук, професор  
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,  
maria.kravchuk@ukr.net

## ВПЛИВ ТЕПЛООБМІНУ В КОНТАКТАХ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАГРІВАННІ ЗОНИ З'ЄДНАННЯ ПЛАСТИН АМГ6 У ПРОЦЕСІ ЇХ ПАЯННЯ

Ремонт оболонкових конструкцій великого розміру можна здійснювати шляхом приєднання накладки в зоні пошкодження методом паяння. Для реалізації цього процесу достатнє локальне нагріванням зони з'єднання, наприклад, з допомогою плоского нагрівача, що контактує з накладкою. При цьому параметри нагрівача (температура, маса, тощо) повинні забезпечити плавлення припою в зоні з'єднання пластин без оплавлення накладки. Відповідну схему паяння проаналізовано в роботах [1, 2] та показано, що вона може забезпечити локальне нагрівання зони з'єднання до температури плавлення припою за умови, що температура нагрівача перевищує деяке граничне значення, за якого тепловий потік від нагрівача перевищує відтік тепла з пластини накладки до оболонки.

У роботі [3] показано, що в наближенні ідеальних теплових контактів існує оптимальна товщина БФ, яка забезпечує реалізацію процесу паяння за мінімального оплавлення пластини-накладки. Проте, в реальних умовах теплові контакти неідеальні, що необхідно виховувати при визначенні оптимальних параметрів нагрівача. В зв'язку з цим, в роботі експериментально досліджено вплив неідеальних теплових контактів між алюмінієвими пластинами на їх нагрівання за допомогою плоского нагрівача. Показано, що сила притискання контактуючих пластин одна до одної, більш ефективно впливає на теплопередачу в зоні контакту, ніж шорсткість їх поверхонь. При цьому, характеристики теплопередачі в процесі нагрівання пластин стрибкоподібно змінюються. Така поведінка коефіцієнта теплопередачі при нагріванні пластин пов'язується з мікропластичною деформацією їхніх поверхневих шарів під дією постійно діючих зусиль притискання [4]. Запропоновано розрахунково-експериментальний метод самоузгодженого визначення значень коефіцієнта теплопередачі в контактах при різних температур, який базується на порівнянні експериментально вимірених та розрахованих термограм нагрівання пластин і, таким чином отримати оптимальні параметри нагрівача для забезпечення температурних умов процесу паяння.

### Список посилань

1. Кривцун І. В., Спеціальні способи зварювання. Підручник за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона / І.В.Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв – Миколаїв, НУК – 2017.
2. Васенин Ю. Л. и др. Моделирование тепловых процессов при ремонте трубопроводов в условиях космоса / Ю. Л. Васенин, А.А. Загребельный, А.Т. Зельниченко, И.В. Кривцун, В.Ф. Шулым // Автоматическая сварка. – 2001. – № 4. С. – 19–24.
3. Кулинич М. В. Расчет тепловых полей в процессе соединения алюминиевых пластин через промежуточные прослойки при локальном нагреве зоны соединения / М. В. Кулинич, Т. В. Запорожец, А. М. Гусак, А. И. Устинов // Автоматическая сварка. – 2019. – № 4. – С. 10–15.
4. Устінов А.І. Вплив теплових контактів на нагрів алюмінієвих пластин у нестационарних умовах розігріву за допомогою СВС-процесу / А.І. Устінов, М.В. Кулініч, С.Г. Косінцев // Автоматичне зварювання. – 2023. – № 10. – С. 53–59.



УДК 543.282.539

Кулініч М.В., канд. техн. наук  
Кременчутський О. С., аспірант  
Клепко О.Ю., канд. фіз.-мат. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, maria.kravchuk@ukr.net

**ВПЛИВ УМОВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСАДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ  
Co-35 ваг.% Ni НА ЇХ ДИСИПАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ**

Демпфуючі покриття розглядають як ефективний спосіб зниження амплітуди резонансних коливань, які можуть виникати в механічних системах під дією вібрацій, частота яких збігається з резонансною частотою її окремих елементів [1]. Проте, для застосування такого підходу до підвищення надійності і довговічності роботи складних механічних систем таких, наприклад, як компресор авіаційного газотурбінного двигуна, необхідні матеріали і методи їх осадження, які забезпечують покриттям не лише високу демпфуючу здатність але й високий рівень міцності та корозійної стійкості. З цієї точки зору, особливу увагу привертають сплави на основі кобальту [1], високий рівень демпфування яких обумовлений магнітомеханічною дисипацією енергії коливань. В роботі проведено дослідження впливу умов електронно-променевого осадження феромагнітного сплаву Co-35 ваг.% Ni на його власні значення коефіцієнту демпфування.

З рис.1а видно, що при підвищенні температури осадження нахил амплітудної залежності власних значень коефіцієнта демпфування ( $\psi$ ) збільшується.

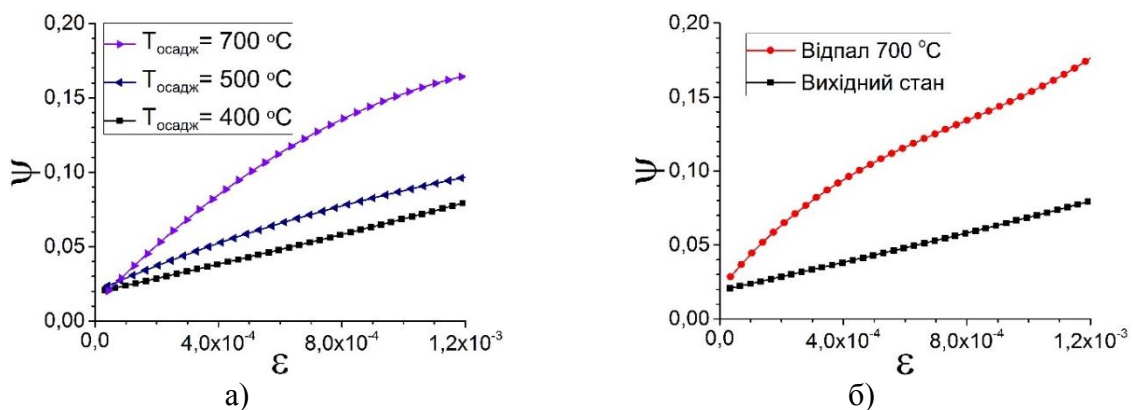


Рис.1 – Амплітудна залежність власних значень коефіцієнта демпфування покриттів Co-35ваг.% Ni, осаджених при різних температурах (а) та покриття, осадженого при температурі 400°C, у вихідному стані та після відпалу при температурі 700°C (б)

Подібний результат спостерігається і у випадку додаткового відпалу зразків, осаджених при низьких температурах. Як видно з рис.1б, амплітудна залежність власних значень  $\psi$  для покриття, осадженого при температурі 400°C і відпаленого при температурі 700°C, стає подібною до зразка осадженого при цій температурі.

На основі електронно-мікроскопічних досліджень мікроструктури покриттів осаджених при різних температурах і після їх відпалу при підвищених температурах показано, що вплив умов осадження та додаткової термічної обробки пов'язаний зі збільшенням розміру зерна в покритті. На цій підставі прийшли до висновку, що для забезпечення високого рівня демпфування феромагнітних покриттів Co-35ваг.% Ni необхідно забезпечити умови їх осадження і термічної обробки, які сприяють збільшенню розміру зерна, внаслідок чого підвищується рухливість границь магнітних доменів.

**Список посилань**

1. Yen H.-Y. Passive vibration suppression of beams and blades using magnetomechanical coating / H.-Y. Yen, M.-H. Herman Shen // Journal of Sound and Vibration. – 2001. №4(245). – С. 701–714.

УДК 621

Руденко Н.В., канд. техн. наук, доцент  
Руденко О.Л., магістр

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», n.rudenko@khai.edu

## НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ІНСТРУМЕНТ

Нанесення зносостійких покриттів на інструмент є комплексним завданням [1]. Відповідаючи ряду вимог, покриття, зрештою, має характеризуватися високою зносостійкістю. Отже, воно повинно мати високу термічну стійкість, механічні властивості і міцність зчеплення з інструментальною основою. Вибір покриття здійснюється в залежності від типу оброблюваного матеріалу та області його застосування. Будь-яке покриття повинно мати максимальну інертність до матеріалу, що обробляється, тому необхідно враховувати тип хімічного зв'язку матеріалу покриття.

Вважається, що чим помітніше проявляється металевий тип зв'язку покриття, тим сильніше воно схоплюється з матеріалом, що обробляється. Ось чому карбіди перехідних металів виявляють високу адгезійну активність по відношенню до різних металів та сплавів, ніж нітриди [2].

На практиці часто використовуються двошарові структури, що складаються із проміжного шару карбідів, нітридів, карбонітридів металів IV-VI груп, AlN і SiO<sub>2</sub> (для керамічних інструментів) та поверхневого шару Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, що забезпечує достатній захист від корозії. Товщина підшару у яких змінюється не більше від 0,1 до 10 мкм, а зовнішнього шару – від 1 до 10 мкм. У багатошарових покриттях використовують TiC (нижній шар), бо дане з'єднання забезпечує високу адгезію з матеріалом інструменту, TiN (верхній шар), що має меншу адгезію і менш крихке, ніж TiC і перехідний стан Ti(C,N) – як проміжного шару. Покриття на основі титану підвищують стійкість ріжучих твердосплавних пластин в 4 – 6 разів, на 50 – 100 % збільшують швидкість різання [3]. Як правило, товщина покриттів на твердосплавному інструменті становить 4 – 10 мкм (іноді до 15 мкм), а далеких шарів (залежно від їхньої кількості) – від 1 до 3 – 4 мкм. Велика товщина у зв'язку з крихкістю з'єднання може знизити сумарну в'язкість матеріалу.

Необхідно зазначити, що застосування багатошарових та композиційних покриттів значно збільшує можливість оптимізації їх властивостей у порівнянні з інструментальною основою та оброблюваним матеріалом [3].

Особливу цікавість викликає композиційне покриття подвійного нітриду (Ti,Al)N. Це покриття має таку ж кубічну структуру, як і TiN, але має менший період решітки, що відбивається на його твердості (в 0,6 рази більше, ніж у TiN). Покриття (Ti,Al)N стабільно при температурі 710-830 °С, тоді як покриття TiN починає окислюватися при 550 °С. Пояснюється це тим, що на поверхні (Ti,Al)N формується захисний аморфний шар Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, що запобігає подальшому окисленню. Отже довговічність інструменту з покриттям (Ti,Al)N значно перевищує довговічність інструменту з нітридотитановим шаром.

### Список посилань

1. Оржеховський Ю. В. Розробка технології зміцнення поверхонь деталей за рахунок нанесення зносостійкого покриття. – 2023.
2. Руденко В. О., Руденко В. О. Прогнозування якісних характеристик деталей авіаційної техніки, що підвергнуті лазерній обробці //Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету «Чернігівська політехніка»(протокол № 4 від 30.05. 2022). – 2022. – С. 154.
3. Аулін В. В. и др. Управление процессами тертя та зношування деталей за допомогою нанесення багатокомпонентних та багатошарових покриттів //Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of machine and equipment reliability. – 2019. – с. 50.

УДК 621.785.5

**Смирнов І.В.,** докт. техн. наук, професор

**Чорний А.В.,** канд. техн. наук, доцент

**Лисак В.В.,** доктор філософії

**Сопленко Т.О.,** магістр

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

smirnovkpi@gmail.com

**Селіверстов І.В.,** канд. техн. наук, доцент

Херсонський національний технічний університет

## **ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ТИТАНОВИХ СПЛАВАХ В ПРОЦЕСІ ІМПУЛЬСНОГО ІОННО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ**

Титанові сплави є основними у виробництві елементів конструкцій та деталей літальних апаратів. Для підвищення їх фізико-механічних властивостей застосовують різноманітні методи інженерії поверхні, особлива увага при цьому приділяється іонно-плазмовому азотуванню [1].

Велика кількість робіт по іонному азотуванню титанових сплавів пов'язана з використанням тліючого плазмового розряду. Даний метод добре вивчений і знаходить широке застосування в промислових установках. На даний час глибина азотованих шарів може досягати 200 мкм, а мікротвердість до 20 ГПа.

Перспективним напрямком розвитку іонного азотування є застосування імпульсних плазмових технологій. Даний підхід базується на поєднанні імпульсного розряду для створення плазмового потоку елементу-дифузанта (азоту) та імпульсного зміщення потенціалу підкладки з переходом до пакетно-імпульсного режиму збудження індукційного розряду.

Напруження в титанових сплавах можуть виникати як внаслідок експлуатаційного навантаження, так і в процесі їх обробки (залишкові напруження), які впливатимуть на експлуатаційні властивості поверхні. При цьому сприятливим є виникнення залишкових напружень стиску, які попереджають розвитку тріщин втоми.

Для іонного азотування застосовують титанові сплави різного фазового складу ( $\alpha$  - ВТ1-0,  $\alpha+\beta$  – ВТ3, ВТ6, псевдо  $\alpha$  - ОТ4-1 та інші), звідси, що фазовий склад також буде визначати перебіг процесу азотування та виникнення залишкових напружень.

Таким чином, актуальним є дослідження впливу технології іонно-плазмового азотування поверхні титанових сплавів на виникнення в них залишкових напружень.

Мета роботи полягала в оцінці залишкових напружень в титанових сплавах, що виникають внаслідок імпульсного іонно-плазмового азотування.

Для проведення досліджень був обраний титановий сплав ОТ4-1. Він відноситься до найбільш технологічних титанових сплавів, з якого виготовляються деталі для літаків і ракет, обшивки крил та закрилків в авіаційній промисловості.

Дослідження проводили з використанням пластин Almen, які застосовуються для оцінки поверхневого зміцнення за величиною прогину [2]. Пластини Almen розміром  $76 \times 19$  мм<sup>2</sup> вирізалися з листа титанового сплаву товщиною 0,8 мм. Величину прогину вимірювали за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Діапазони технологічних режимів імпульсного іонно-плазмового азотування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Діапазони технологічних режимів

Тиск робочого газу, Па	Напруга, кВ	Струм, мА	Частота імпульсів, кГц	Тривалість процесу, год
300-400	0,8-1,2	500-800	10	1-4

За температурою розрізняють низькотемпературне азотування – 450-600°C, що відповідає температурі рекристалізації та високотемпературне азотування – 750-1000°C, що відповідає температурі фазового  $\alpha$ - $\beta$ -переходу. В роботі проводили низькотемпературне азотування при температурі 500-550°C. В результаті азотування, пластина деформується у вигляді дуги, за величиною прогину якої оцінювали залишкові напруження за формулою [3]:

$$\sigma = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot B \cdot \delta}{2 \cdot L^3 \cdot \pi} (1 + \mu), \quad (1)$$

де  $f$  – прогін пластини, м;

$E$  – модуль пружності титанового сплаву, МПа;

$B$  – ширина пластини, м;

$\delta$  – товщина пластини, м;

$L$  – поздовжній розмір деформованої пластини, м;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Після першої години азотування прогін пластини складав  $0,2 \pm 0,05$  мм, що відповідає залишковим напруженням на рівні  $87 \cdot 10^4$  Па, в результаті збільшення часу азотування до 4 год, прогін пластини збільшився лише на 0,1 мм, а залишкові напруження відповідно до  $131 \cdot 10^4$  Па. Дана закономірність підтверджує, що при іонному азотуванні титанових сплавів на їх поверхні формується нітридна плівка, яка перешкоджає подальшій дифузії азоту в глиб зразка. При цьому пластина-зразок в результаті азотування вигиналася опуклістю до верху, що вказує на те, що в поверхневих шарах пластини формуються напруження стиску. Формування залишкових напружень стиску, як вже згадувалось, сприятливо впливає на експлуатаційні властивості поверхні, наприклад, для забезпечення ерозійної- та зносостійкості. Ілюстративно вигин пластини під впливом напружень стиску в поверхневих шарах в процесі іонно-плазмового азотування показаний на рис.1.

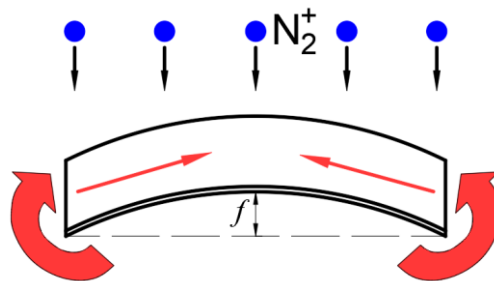


Рис. 1 – Вигину пластини під впливом залишкових напружень стиску в процесі іонно-плазмового азотування

Таким чином, в процесі низькотемпературного імпульсного іонно-плазмового азотування формуються незначні залишкові напруження, внаслідок малої товщини азотованого шару. В процесі високотемпературного азотування товщина дифузійного шару може збільшуватись на порядок, що призведе відповідно до збільшення залишкових напружень.

#### Список посилань

1. Sobieszczyk S. Surface modifications of ti and its alloys / S. Sobieszczyk // Advances in Materials Science, 2010. – Vol.10, № 1 (23). – pp. 29 - 42
2. Sauer J.P., Sahoo P. (2001). HVOF Process Control Using Almen and Temperature Measurement / J.P. Sauer, P. Sahoo // Thermal Spray 2001: Proceedings from the International Thermal Spray Conference, 2001. – pp. 791-796
3. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: навч. посібник / А.С. Карпенко – К.: Арістей, 2005. – 268 с.

УДК 539.434:620.178.1:620.18

Єфімов М.О., канд. фіз.-мат. наук  
Грінкевич К.Е., канд. техн. наук  
Воскобойнік І.В.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України, Київ, [ivvosk@ukr.net](mailto:ivvosk@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ З ЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Ti-Cr НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО L1<sub>2</sub> ІНТЕРМЕТАЛІДУ

Розроблено склади комплексно легованих сплавів на основі кубічного L1<sub>2</sub> інтерметаліду потрійної системи Al-Ti-Cr, які за сукупністю характеристик (високотемпературна міцність, жаростійкість та ін.) перевищують промисловий сплав WAUBIC цієї системи та промисловий сплав на основі  $\gamma$ -TiAl (рис. 1).

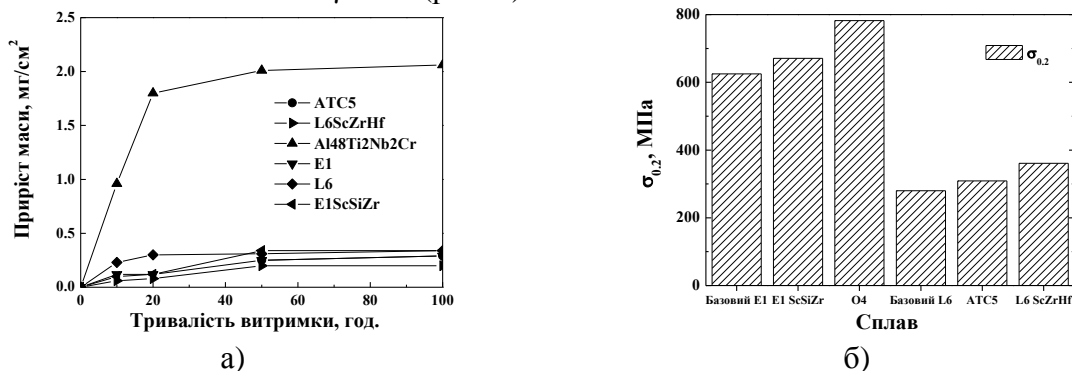


Рис. 1 – а) кінетичні криві окислення сплавів в печі на повітрі при 900 °С протягом 100 годин; б) порівняння значень границі плинності евтектичних та однофазних сплавів при температурі випробування 700 °С

Покриття мають шарувату мікроструктуру з товщиною мікрошарів  $\sim 2$  мкм та високу твердість (6000-8500 МПа), яка обумовлена як дрібнодисперсною структурою, так і присутністю у покриттях  $\sim 30$  % сполуки Ti(N,O) (рис. 2).

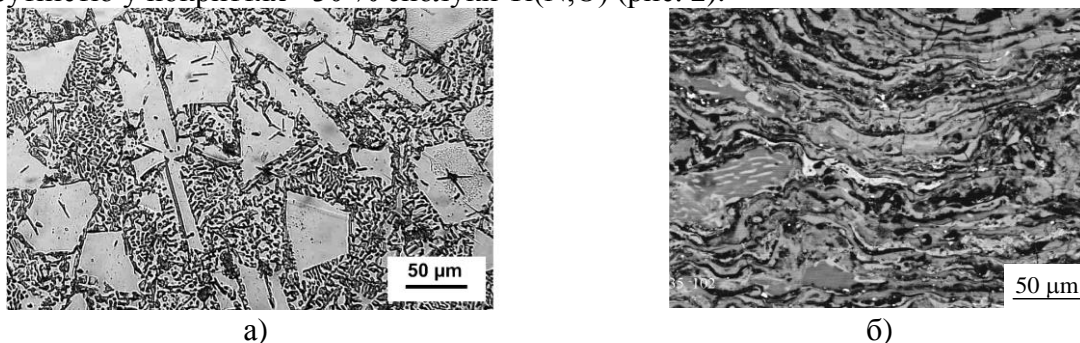


Рис. 2 – Мікроструктура литого евтектичного сплаву та детонаційного покриття

Показана принципова можливість використання сплавів на основі кубічного L1<sub>2</sub> інтерметаліду потрійної системи Al-Ti-Cr [1, 2] в якості детонаційних покриттів на сплав титану ВТ-6. Досліджені покриття мають високу жаростійкість, стійкість до абразивного зношування, адгезійну міцність та тріщиностійкість, що перевищує тріщиностійкість литого сплаву.

### Список посилань

1. Fox-Rabinovich G.S. The role of chromium in protective alumina scale formation during oxidation of ternary TiAlCr alloys in air / G.S. Fox-Rabinovich, G.C. Weatherly, D.C. Wilkinson [et al.] // Intermetallics. – 2004. – N. 12. – P. 165-180.

2. Milman Yu.V. New Light-weight Eutectic Alloys Based on  $L1_2$  Cubic Aluminum Intermetallics with Enhanced Heat Resistance / Yu.V. Milman, O.M. Barabash, N.P. Korzhova [et al.] // High Temperature Materials and Processes. – 2006. – V. 25, N 1-2. –P. 11-17.

УДК 621.79:669.15

**Берднікова О.М., доктор техн. наук**  
**Кушнарєва О.С., канд. техн. наук**  
**Алексєнко Т.О., канд. техн. наук**  
**Газнюк Ю.С., заст. зав. відділу**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ,  
omberdnikova@gmail.com

**Гурнік О.О., викладач**

Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інженерії та зв'язку НАУ»,  
м.Київ, olga.gurnick@gmail.com

### СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ ВИСОКОЧАСТОТНОМУ МЕХАНІЧНОМУ ПРОКОВУВАННІ ПОВЕРХНІ

В різних галузях промисловості: судно-, мосто-, авіабудуванні та оборонній промисловості для підвищення міцності та опору корозійних та втомних пошкоджень застосовують термообробку. Термообробка є енергоємною технологічною операцією. Натомість термообробки може застосовуватися технологія високочастотного механічного проковування (ВМП) поверхні металів та зварних з'єднань, що розроблена в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. В зоні обробки відбувається зміцнення поверхневого шару металу, зняття внутрішніх напружень та поверхневе пластичне деформування. ВМП має багато переваг: високі продуктивність та економічність процесу; компактність та мобільність обладнання; обробка у довільному просторовому положенні як на виробництві так і конструкцій, що експлуатуються.

Метою роботи було вивчення закономірностей структурно-фазових перетворень та параметрів структури металу зварного з'єднання броньової сталі Ramog 500 з використанням дроту ХОРДА 307Ті після зварювання та високочастотного механічного проковування по лінії з'єднання. Дугове зварювання та ВМП поверхні зварного з'єднання виконували в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ у відділі «Зварювання легованих сталей».

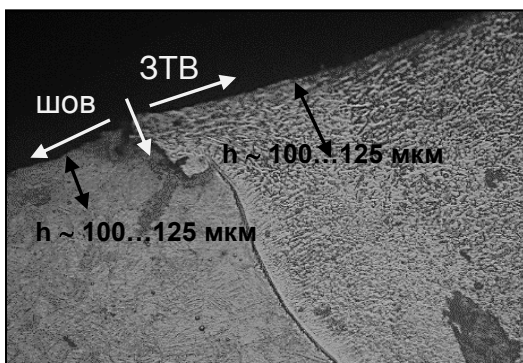


Рис. 1 - Мікроструктура лінії сплавлення зварного з'єднання броньової сталі Ramog 500 з використанням дроту ХОРДА 307Ті після ВМП ( $\times 200$ ).

Дослідницька робота проводилась з використанням світлової мікроскопії (мікроскопи Versamet-2, Neophot-32) та трансмісійної електронної мікроскопії - ТЕМ (JEM-200СХ, фірма JEOL, Японія). Мікротвердість (HV) вимірювали на мікротвердомірі «Лесо» М-400.

Методами світлової мікроскопії встановлено, що структура зварних швів броньової сталі Ramog 500 у вихідному стані аустенітна при мікротвердості у центрі шва  $HV = 2210 \dots 3660$  МПа. В зоні термічного впливу (ЗТВ) формується бейнітно-мартенситна (Б-М) структура зі зменшенням розміру пакетів від  $D_p = 40 \dots 200$  мкм до  $D_p =$

10...35 мкм при переході від ділянки перегріву (I ділянка ЗТВ) до ділянки рекристалізації (IV ділянки ЗТВ) та зменшенні мікротвердості HV від 3360...4640 МПа до 300...3830 МПа. Структура в основному металі бейнітна ( $D_B = 25...70$  мкм;  $HV = 2830...3510$  МПа).

В зварному з'єднанні після ВМП в шві підвищується мікротвердість аустенітної структури в середньому у 1,2 рази до  $HV = 3360...4210$  МПа. В ЗТВ у порівнянні з вихідним станом, спостерігається зменшення (в середньому в 1,4 рази) розміру пакетів та мікротвердості. Бейнітна структура основного металу незначно подрібнюється ( $D_p = 25...60$  мкм) при  $HV = 3220...4010$  МПа.

Після ВМП у поверхневій ділянці по лінії з'єднання спостерігається подрібнення структури: на глибині (h) до 125 мкм від поверхні зразка (рис. 1); в металі шву до  $D_p \sim 10...30$  мкм де  $HV = 4420...4640$  МПа; в ЗТВ до 25...50 мкм (I ділянка ЗТВ) при  $HV = 4640...5520$  МПа, відповідно до 5...10 мкм (IV ділянка ЗТВ) при  $HV = 4210...5140$  МПа (рис.1).

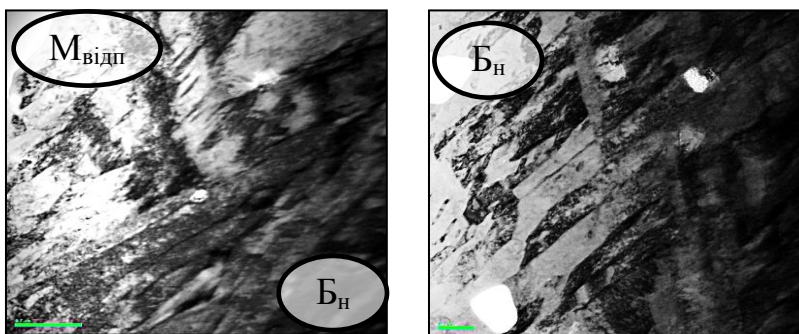


Рис.2 - Тонка структура поверхневого шару у ЗТВ зварного з'єднання броньової сталі Ramor 500 з використанням дроту ХОРДА 307Ті після ВМП ( $\times 35000$ ).

(для мартенситу). Щільність дислокацій зростає (в середньому у 2,5 рази) до  $\rho = 8 \times 10^{10}...4 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

Результати комплексних досліджень дають можливість зробити висновок, що застосування ВМП забезпечує тріщиностійкість, а також зміцнення ділянки шва та ЗТВ зварних з'єднань броньової сталі Ramor 500.

На базі експериментальних досліджень зварних з'єднань броньової сталі Ramor 500 після ВМП проведено аналітичні оцінки зміни показника структурного зміцнення ( $\Sigma\sigma_T$ ) металу I ЗТВ (ділянка перегріву) з урахуванням внеску кожного із структурних параметрів.

Встановлено, що такі структурні особливості як подрібнення структури, рівномірний розподіл щільності дислокацій після зварювання та ВМП свідчать про забезпечення комплексу властивостей міцності та в'язкості руйнування зварних з'єднань. Розрахункові оцінки структурного зміцнення металу зварного з'єднання броньової сталі показали, що основний внесок забезпечують субструктурне, дислокаційне та твердорозчинне зміцнення. Аналітичною оцінкою локальних внутрішніх напружень ( $\tau_{л/вн}$ ) не виявлено формування їх градієнтів, в середньому -  $\tau_{л/вн} = 1867$  МПа.

Слід відмітити, що в поверхневій ділянці зварних з'єднань спеціальної броньової сталі Ramor 500 з використанням дроту ХОРДА 307Ті після зварювання та високочастотного механічного проковування по лінії з'єднання найбільші показники структурного зміцнення металу ЗТВ забезпечують структурні складові бейніту нижнього та мартенситу відпуску.

Методами ТЕМ встановлено, що в зварних з'єднаннях сталі Ramor 500 після ВМП в шві подрібнюється у 2 рази субструктура в аустеніті до 0,1...0,6 мкм та підвищується щільність дислокацій (у 1,8 рази) до  $\rho = 9 \times 10^9...5,5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ . В ЗТВ також спостерігали подрібнення бейнітно-мартенситної структури в середньому в 2 рази до 0,1...0,5 мкм (для бейнітної складової) та 0,2...0,8 мкм

УДК 621.791.762.5

Кавуніченко О.В., канд. техн. наук  
Антіпін Є.В., доктор філософії  
Дідковський О.В.  
Левчук А.М.  
Шило Ю.А.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, [avkava@gmail.com](mailto:avkava@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ПЛАСТИЧНОСТІ МЕТАЛУ В ЗОНІ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА СТАТИЧНИЙ ВИГИН

Залізничний транспорт є однією з ключових складових сучасної інфраструктури, що забезпечує швидке та ефективне перевезення людей і вантажів по всьому світу. Залізничні рейки є основним елементом будь-якої залізничної системи, створюючи основу для безпечного та ефективного перевезення. При будівництві та ремонті залізничних колій використовуються рейки з різними видами термічної обробки в стані поставки, таких як: поверхнево-загартовані (ПЗ), об'ємно-загартовані (ОЗ) та незагартовані (Н).

Мета роботи – встановити вплив розподілу пластичності металу в зоні термічного впливу (ЗТВ) зварного з'єднання залізничних рейок, з різними видами термічної обробки в стані поставки, при механічних випробуваннях на статичний вигин.

Методи дослідження – розрахункові та експериментальні, зокрема, зварювання та реєстрація зміни технологічних параметрів (стикозварювальна машина К924М), механічні випробування зварних з'єднань (прес гідравлічний МСП-300), вимірювальний інструментальний мікроскоп.

Зварювання проводили на залізничних рейках профілю Р65 з використанням високоєфективних режимів контактного стикового зварювання (КСЗ) пульсуючим оплавленням з контрольованим енерговкладенням.

На підшві та головці зварних рейок перед випробуваннями на статичний вигин було нанесено мітки з кроком 10 мм від лінії з'єднання. Після цього було проведено фотографування зразків із масштабною лінійкою. Випробування проводились відповідно до вимог ТУ У 30.2–14367980–028:2018 при навантаженні на голівку чи підшву зразка. Зразки доводилися до руйнування та фотографувалися з масштабною лінійкою. За фотографіями на інструментальному вимірювальному мікроскопі проводилися вимірювання відстаней між мітками, а результати вимірів перераховувалися з урахуванням масштабу в реальні розміри за різницею, за якими визначалася ступінь пластичної деформації.

Встановлено, що пластичні деформації в зварних зразках при випробуваннях на статичний вигин, зосереджені в зоні дії пуансона на відстані до 70 мм в обидві сторони від лінії з'єднання.

Встановлено, що в зварних зразках залізничних рейок типу ПЗ+ОЗ зосереджені найменші величини відносної пластичної деформації, які досягають величини 7,5 %. Натомість, в зварних зразках залізничних рейок типу ПЗ+Н та ОЗ+Н зосереджені найбільші величини відносної пластичної деформації, які сфокусовані в ЗТВ в місцях найбільшого знеміцнення та досягають величини 20...25 %.

При КСЗ пульсуючим оплавленням, зварні зразки залізничних рейок, з різними видами термічної обробки в стані поставки, забезпечують необхідні механічні властивості на статичний трьохточковий вигин та відповідають вимогам діючих стандартів України.



УДК 669.15

Гіржон В.В., докт. техн. наук, професор  
 Бриков М.М., докт. техн. наук, професор  
 Климов О.В., канд. техн. наук, доцент  
 Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Запорізька політехніка», brykov@zr.edu.ua

Єфременко О.В., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, м. Дніпро

## ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВУГЛЕЦЮ В ОЦК ТВЕРДОМУ РОЗЧИНІ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ XRD ДОСЛІДЖЕННЯ

Вміст вуглецю в  $\alpha$ - та  $\gamma$ -твердих розчинах сплавів на основі заліза значно впливає на механічні і експлуатаційні властивості останніх. За одного і того ж вмісту вуглецю в сталі, його вміст в твердих розчинах може значно коливатись в залежності від термічної обробки. В роботі наведено метод визначення вмісту вуглецю в твердому  $\alpha$ -розчині на основі заліза за положенням дифракційного максимуму (211).

Для швидкого визначення кількості вуглецю в ОЦК гратках сталі в залежності від положення дифракційного максимуму (211) були побудовані номограми  $\Delta C(2\theta)$  для XRD-досліджень у кобальтовому та мідному випромінюваннях.

Побудова виконувалася з таких міркувань. Згідно з [1] кількість вуглецю визначається із співвідношення

$$\Delta[C]_{\alpha} = \frac{10^3}{0.84 \pm 0.08} (a_{\alpha} - a_0) = \frac{10^3}{0.84 \pm 0.08} (\Delta a_{\alpha}) \text{ (ат. \%)} \quad (1),$$

де  $a_0 = 0,28664$  нм – параметр ґратки чистого  $\alpha$ -заліза;  $a_{\alpha}$  – параметр ґратки зразка, що досліджується.

Відомо, що для кубічної ґратки  $a = d\sqrt{H^2 + K^2 + L^2}$ , тоді для визначення параметра ґратки за положенням дифракційного максимум (211) можна записати  $a = d\sqrt{6}$ . Але

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}, \text{ тоді } a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{6}.$$

Підставивши все до формули (1) побудуємо залежності  $\Delta C(2\theta)$  з кроком  $0,01^\circ$ .

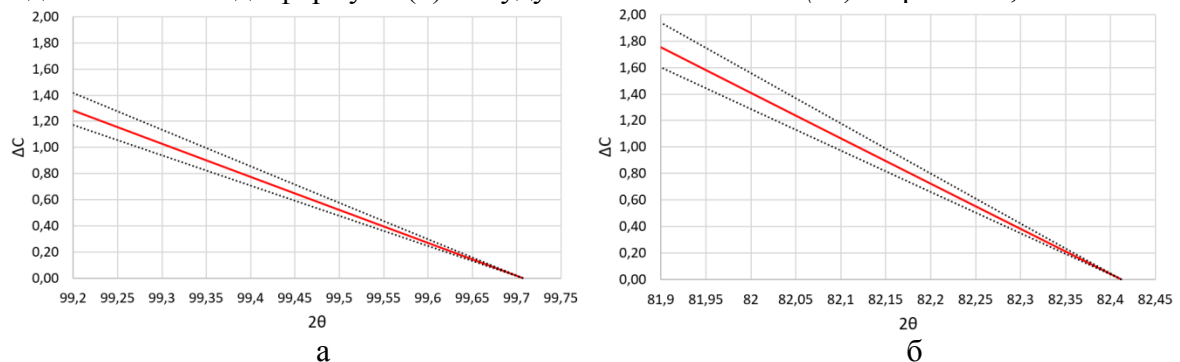


Рис.1 – Номограми для визначення кількості вуглецю в ОЦК ґратці сталі за положенням дифракційного максимуму (211) а)  $\text{Co-K}\alpha$ -випромінювання б)  $\text{Cu-K}\alpha$ -випромінювання

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2021-01/0189 «Нові матеріали з градієнтною наноструктурою для несучих конструкцій підвищеної надійності і безпеки людини в особливих умовах»).

### Список посилань

1. Lv, Z. XRD analyses on dissolution behavior of cementite in eutectoid pearlitic steel during cold rolling / Z. Lv, P. Jiang, Z. Wang, W. Zhang, S. Sun, W. Fu // Materials Letters.– 2008.–Vol. 62 (17–18).– P. 2825–2827.

УДК 621.791.762.5

Антіпін Є.В., доктор філософії  
Дідковський О.В.  
Кавуніченко О.В., канд. техн. наук  
Левчук А.М.  
Шило Ю.А.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, НАН України, м. Київ, kaladze@meta.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ ПРИ КСЗО СУЧАСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК ВИСОКОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

В інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона накопичений великий об'єм даних по всім видам контролю з'єднань високоміцних рейок в поєднанні з дослідженням структури зламів і даними механічних випробувань. Саме тому, була поставлена задача – дослідити дефекти які найчастіше всього зустрічаються в сучасних рейках конверторного виробництва, а також причини їх виникнення. Для проведення досліджень були використані рейки марки сталі К76Ф, що широко застосовуються на залізницях України.

Зразки для досліджень відбирали на рейкозварювальних підприємствах на основі результатів операційного та неруйнівного ультразвукового контролю. Дефекти структури виявляли на поверхні зламів після випробувань зварних стиків на статичний поперечний згин. Випробування проводили за методикою, прийнятою на залізницях України та Європи.

Дефекти, що виникають при КСЗО залізничних рейок можна умовно розділити на дефекти, що виникають через неоднорідність основного металу рейкової сталі та дефекти, що виникають через порушення технології зварювання.

Дефекти, що виникають через неоднорідність основного металу пов'язані з наявністю в основному металі неметалевих включень. Неметалеві включення (НВ) порушують суцільність металу і, маючи зовсім відмінні механічні та фізичні властивості, спричиняють значний вплив на його механічні та експлуатаційні властивості. Для сучасних конверторних рейкових сталей характерна присутність в структурі неметалевих включень (НВ) наступних видів: глобулярні сульфіди та оксиди марганцю, витягнуті вздовж напрямку прокату пластичні залізомарганцеві сульфіди, складні оксиди, що містять кремній, алюміній, кальцій і являють собою невидалені продукти розкислення сталі. В термодформаційних умовах зварювання можлива трансформація НВ, що посилює їх негативний вплив.

З поміж дефектів, що пов'язані з неоднорідністю основного металу особливу увагу займають дефекти, які в нормативних документах визначаються як «*матові плями*» (МП), або «*сірі плями*». На поверхні зламу вони спостерігаються як ділянки темного кольору з нерозвиненим рельєфом. Слід зазначити, що основну частину складу цих дефектів являють алюмосилікати. Матовість зламу надає ямковий рельєф поверхні після руйнування по включенням.

Характерною особливістю включень алюмосилікатів є значна кількість заліза в їх складі (0,86 ... 0,99 ат.%). Це свідчить про те, що їх поява не пов'язана з оплавленням торців. Вони формуються в сусідньому до оплавлення шарі металу на базі включень основного металу. Розташування алюмосилікатів в сусідньому до оплавлення шарі металу ускладнює їх видавлювання в ґрат при осадці.

Відомо, що легкоплавкі алюмосилікати утворюються при окисленні кремнію в присутності алюмінію. Джерелом кремнію може бути силікокальцій, що використовується як розкислювач при виробництві рейок. Алюміній потрапляє в сталь з феросплавів і, можливо, ковшового шлаку.

У ході обстеження великої кількості дефектів типу МП у з'єднаннях рейок різного виробництва встановлено, що здебільшого їх товщина не перевищує 20 мкм. Невелика товщина, з одного боку, ускладнює їх виявлення при ультразвуковому контролі, а з іншого

- наявність таких дефектів у зварних швах рейок не впливає суттєво на показники при механічних випробуваннях на статичний і ударний згин.

Контактно стикове зварювання оплавленням характеризується великою кількістю параметрів, і його правильне налаштування потребує відповідних знань та досвіду. У випадку некоректного вставленню тих чи інших параметрів управління процесом оплавлення чи осадки це може призвести до появи дефектів по лінії з'єднання чи зоні термічного впливу. До основних дефектів, які виникають через порушення технології зварювання можна віднести непровари, залізомарганцеві силікати та незакриті кратера.

*Непровар* формується в умовах, коли метал торця рейки перед осадкою знаходиться в твердому або твердо-рідкому стані. На зламі він має вигляд плоскої блискучої ділянки. Встановлено, що мікроструктура поверхні аналізованого дефекту являє собою плоскі ділянки матриці металу рейки, розділення структурної складової, що складається з оксидів і силікатів. Очевидно, ця структурна складова утворюється з неметалічних включень основного металу і продуктів окислення оплавленого по межах металу рейки через неправильне налаштування швидкості оплавлення на етапі що передує осадці (форсуванні), поганому захисті іскрового проміжку від потрапляння кисню та кристалізації розплавленого металу по лінії з'єднання перед осадкою. Технологія зварювання передбачає видалення залізомарганцевих силікатів разом із розплавом у грат при осадці.

*Залізомарганцеві силікати* утворюються в процесі зварювання при окисненні оплавленого металу. Прийнято вважати, що формування оксидних структур в площині з'єднання визначається наявністю кисню в іскровому проміжку в період оплавлення, що існує перед етапом осадки. Встановлено, що головним фактором, що впливає на утворення дефектів в площині з'єднання, є стан розплаву на торцях деталей, що оплавляються в період, що передує осадці. Якщо розплав рідкого металу на торцях деталей зберігається, при деформації він видавлюється з стику разом з оксидами, що утворюються на його поверхні, незалежно від вмісту кисню в іскровому зазорі. Тривалість існування шару розплаву на торцях залежить від його товщини, градієнта температурного поля в приконтатній області торців і швидкості оплавлення деталей.

*Незакритий кратер* це дефект, що виникає внаслідок грубого порушення технології зварювання. Даний дефект виникає при встановленні занадто високих швидкостей холостого ходу, оплавлення може перейти в процес близький до нагрівання опором, особливо це стосується етапу оплавлення що передує осадці.] При цьому перегріті ділянки приведуть до викиду великих шматків металу і утворення в стику незакритих кратерів. Такі дефекти є неприпустимими і можуть призвести до сходу рухомого потягу.

### **Висновки**

Дослідженнями дефектів зварних з'єднань рейок, отриманих КСЗО, встановлено, що більшість дефектів знаходиться в місцях з'єднання. За своєю структурою і впливом на механічні властивості дефекти можуть бути розбиті на дві групи.

Першу групу складають дефекти, що пов'язані з неоднорідністю основного металу залізничних рейок типу «матових плям». Друга група дефектів пов'язана з порушенням технології зварювання, до таких дефектів входять незакриті кратера, залізомарганцеві силікати та непровари.

Дефекти першої групи при загальній площі до 15 мм<sup>2</sup> не чинять значного впливу на показники механічних властивостей рейки. Дефекти другої групи значно знижують показники при механічних випробуваннях та можуть призвести до зламу зварного стика під час експлуатації. Їх наявність в зварних з'єднаннях недопустимі. Дефекти першої та другої груп площею понад 15 мм<sup>2</sup> виявляються сучасними засобами неруйнівного ультразвукового контролю та заборонені вимогами діючих технічних вимог України на зварювання залізничних рейок.

УДК 621.791.762.14

Зяхор І.В., канд. техн. наук  
Антіпін Є.В., доктор філософії  
Левчук А.М.  
Шило Ю.А.  
Кольцов В.В.

Завертанний М.С., канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ, [zyakhor2@ukr.net](mailto:zyakhor2@ukr.net)

## ВСТАНОВЛЕННЯ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ЗВАРНИХ СТИКІВ РЕЙОК МЕТОДАМИ ФАКТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ПОВЕРХОНЬ ЗЛАМУ

При виконанні контактного стикового зварювання оплавленням (КСЗО) рейок на рейкозварювальних підприємствах АТ “Укрзалізниця” використовуються машини типу КЗ55, які реалізують технологію КСЗО безперервним оплавленням [1]. Оскільки ці машини не обладнані системами контролю параметрів процесу КСЗО, то є проблематичним встановити причини невідповідності деяких зварних стиків нормативним вимогам [2]. У таких випадках визначення імовірних причин руйнування зварних стиків при механічних випробуваннях або експлуатації проводять методами металографічного аналізу та фрактографічних досліджень поверхонь зламу [3].

В роботі досліджували злам зварної рейки типу Р65 марки Е76Ф [4] з метою встановлення імовірних причин руйнування стика в процесі експлуатації, типу наявних дефектів [5], передумов їх виникнення.

Методи дослідження – експериментальні зокрема, макроаналіз, мікроаналіз, методи світлової (Neophot-32), растрової електронної мікроскопії (ОЖЕ-мікрозонд JAMP-9500F, «JEOL»), мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) (EDS-спектрометр OXFORD EDS INCA Energy 350).

При оптичній металографії прилеглих до зламу зварного стика ділянок зони термічного впливу (ЗТВ) встановлено, що загальна ширина ЗТВ значно перевищує вимоги [6], який регламентує мінімальне і максимальне значення ширини ЗТВ – 20 і 45 мм відповідно.

Встановлено, що досліджений злам зварного стика (рис. 1, а) за макрогеометрією поверхні руйнування є неоднорідним, оскільки має геометричні зони з різним макрорельєфом поверхні руйнування; за станом поверхні та мікромеханізмом руйнування злам у головці та переважній частині шийки і підшви є кристалічним, квазікрихким, міжзеренним [7].

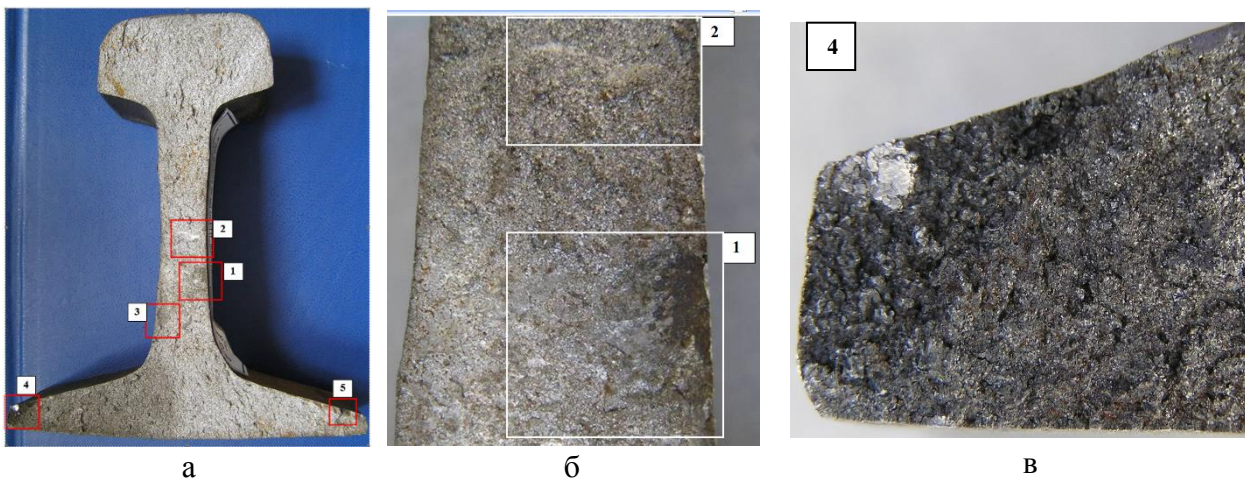


Рис. 1 – Злам зварної рейки (а), дефекти в шийці (б), та підшви (в) рейки

За результатами досліджень встановлено, що поверхня дефектів у шийці рейки (рис. 1, б – ділянки 1, 2, 3) не має ознак кристалічного зламу. Хімічний склад темних ділянок без металевго блиску відповідає складу оксиду заліза FeO, ознак утворення нероз'ємного з'єднання не виявлено. Дефекти у шийці рейки відносяться до групи 3 «Тверді включення», Р303 «Оксидні включення – включення оксиду металу в зварному шві» [8].

На ділянках зламу у підшві рейки виявлені дефекти площею близько 70 мм<sup>2</sup> та 15 мм<sup>2</sup>, (рис. 1, в – ділянки 4, 5), які є дефектами групи 3 «Тверді включення», Р306 «Включення литого металу (залишки розплавленого металу з домішками у зварному шві)» [7].

Імовірними причинами утворення вищезазначених дефектів та невідповідності зварного стика нормативним вимогам є поєднання декількох чинників, зокрема:

1. Перегрів рейок (надмірне енерговкладення у зварний стик), що, зокрема, обумовлено:
  - (а) оплавленням косини торців рейок без витримки заданого проміжку часу до початку зварювання;
  - (б) тривалим (декілька секунд) коротким замиканням торців рейок при оплавленні;
  - (в) надмірно тривалим процесом оплавлення (що перевищує нормативні вимоги [2]);
2. Недостатня величина осадки (менше за передбачену вимогами [2] і потрапляння перегрітого металу в підшві рейки у площину з'єднання при зрізанні грату;
3. Локальне окислення ділянок на торцях рейок при потраплянні кисню у глибокі кратери на торцях, які утворюються внаслідок довготривалого короткого замикання торців на стадії інтенсивного оплавлення;
4. Попадання перегрітого металу, який витісняється при осадці із стика, у площину з'єднання при зрізанні грата (для дефектів у підшві).

Встановлено, що зоною стартового розвитку тріщини [3] і причиною зламу зварного стика є дефекти у підшві рейки; руйнування стика обумовлено дією циклічних навантажень та розташуванням дефектів у зоні напружень розтягування. За результатами досліджень розроблено рекомендації щодо запобігання виникнення у зварних рейках дефектів, а саме: використання рейкозварювальних машин, обладнаних системами реєстрації основних параметрів процесу КСЗО і моніторинг протоколів зварювання.

#### Список посилань

1. Кучук-Яценко С., (1992). Контактная стыковая сварка оплавлением. *Київ: Наук. Думка.* - 236 с.
2. Рейки нові зварені для залізниць. ТУ У 27.1-40075815-002:2021. Дніпропетровське НКТБ КГ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».
3. Метали та сплави. Методи металографічного контролювання Терміни та визначення понять. ДСТУ 7175:2010. Київ: Держспоживстандарт України (2010).
4. ДСТУ EN 13674-1:2018 Залізничний транспорт. Колія. Залізниця. Частина 1. Залізничні рейки Вігноле 46 кг/м та понад (EN 13674-1:2011 + A1:2017, IDT). Київ: Держспоживстандарт України (2018).
5. «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 2. Зварювання тиском». ДСТУ EN ISO 6520:2015 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).
6. ДСТУ EN 14587-2:2015. Залізничний транспорт. Колія. Стикове зварювання рейок. Частина 2. Нові класи рейок R220, R260, R350HT із рухомим зварювальним механізмом порівняно зі стаціонарним механізмом. На заміну EN 14587-2:2009. Вид. офіц. 2016.
7. *Метали. Види поверхонь руйнування (зломів)*. ДСТУ 3715-1998. Інститут проблем лиття НАН України. Київ Держстандарт України (1998).
8. «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 2. Зварювання тиском». ДСТУ EN ISO 6520:2015 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).

УДК 621.791

**Костін В.А.,** докт. техн. наук, ст. наук. співробітник  
**Жуков В.В.,** канд. техн. наук, ст. наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ, [valerykkos@gmail.com](mailto:valerykkos@gmail.com)

**Ремінний М.П.,** магістр

Київський академічний університет

## **МОДИФІКУВАННЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ**

Зварювання в сучасній індустрії є неодмінною частиною виробничих процесів, що створює невід'ємний елемент будівництва та виробництва. Здатність створювати з'єднання, які забезпечують міцність та стійкість, робить зварювання критичним етапом виробничого циклу. Однак з технічним розвитком та розширенням вимог щодо якості, зростає необхідність вдосконалення технік та матеріалів, використовуваних у зварювальному процесі.

У роботі розглядаються різні аспекти модифікування металу швів високоміцних сталей та сплавів дисперсними частинками різних сполук. Висвітлюється сутність і взаємозв'язок процесів в контексті поліпшення механічних властивостей металу швів. Були проаналізовані методи та технології модифікації структури ВМНЛ сталей та їх зварних з'єднань. Розглядається використання різноманітних технологій та методів введення модифікаторів у рідку зварювальну ванну, визначаючи їх ефективність та вплив на якість кінцевого продукту. Проаналізовано вплив різних типів модифікаторів на формування структури, особливості кінетики фазових перетворень, структурну та хімічну ліквідацію та механічні властивості отриманих зварних з'єднань. Особлива увага приділяється аспектам наномодифікування металів швів, визначаючи його переваги та недоліки.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що модифікування та мікролегування металу зварних швів шляхом введення порошкового дроту з дисперсними частками оксидних сполук є перспективним технологічним прийомом керування структурою та підвищення механічних властивостей металу зварних швів ВМНЛ сталей, який може бути застосований в умовах промислового виробництва. У сучасних технологіях модифікування використання тугоплавких хімічних сполук різних елементів призначене для активного регулювання процесів первинної кристалізації, зміни ступеню дисперсності фаз, що кристалізуються та формування дрібної вторинної структури. Наномодифікування металу зварних швів ВМНЛ сталей та інших сплавів може бути успішно використано для різних способів зварювання (TIG, MIG/MAG, FSW), що дозволяє значно вплинути на структуру металу швів, подрібнити розмір як первинної так і вторинної структури, зменшити розмір зерен, зменшити ліквідацію та підвищити їх функціональні характеристики міцності, пластичності, в'язкості та зносостійкості.

УДК: 621.791:669.14.018.2.8

**Максимов С.Ю.,** докт. техн. наук,

**Прилипко О.О.,** канд. техн. наук

**Шепелюк Ю.А.,** зав. групи

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, [ead56@ukr.net](mailto:ead56@ukr.net)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПТИМІЗОВАНИХ РЕЖИМІВ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПІД ВОДОЮ**

Зварювання займає важливе місце в процесі будівництва і ремонту підводних трубопроводів. Одним із основних впливів водного середовища – це газонасичення воднем і киснем зварювальної ванни, що призводить до утворення пор в металу шва і холодних

тріщин в зоні термічного впливу. Крім того, при зварюванні під водою, за рахунок інтенсивного тепловідведення, створюються нерівноважні умови фазового переходу, що призводить до формування структури з високим ступенем недосконалості.

Перемішування зварювальної ванни в результаті впливу зовнішнього електромагнітного поля (ЗЕВ) чинить суттєвий вплив на процес кристалізації розплавленого металу, газообмінні реакції і формування структури металу шва. Важливою складовою параметрів ЗЕВ є індукційні струми, вимірювати які і аналізувати їх внесок у зварювальний процес без відповідного математичного опису, програмних засобів та імітаційних моделей дуже важко, а частіше - неможливо,

При моделюванні процесів, що протікають при дуговому зварюванні з використанням ЗЕВ, однією з найважливіших шуканих величин є густина вихрових струмів у масивних тілах. Ці струми суттєво впливають на магнітне поле індуктора і, як наслідок, на розподіл електродинамічних зусиль у потоках розплаву ванни. В даний час існує ряд чисельних методів, які дозволяють моделювати електромагнітну дію на рідкий метал при підводному дуговому зварюванні.

Для подальшого вдосконалення технології механізованого підводного зварювання було використано методи математичного моделювання, як найбільш раціональні для оптимізації експериментальних досліджень в умовах водного середовища. Математичні моделі дозволили врахувати вплив як первинних чинників, а саме заданий струм і напругу в зварювальному ланцюгу і індукторі, властивості матеріалів і умови протікання процесу, так і вторинних - формування структури металу шва і зони термічного впливу і властивості зварного з'єднання.

Розроблений алгоритм дозволяє спростити процес розрахунків для оптимізації технологічного процесу і підвищення якості зварного виробу. За допомогою розробленої програми на мові Delphi 7 проведені чисельні експерименти із дослідження поведінки рідкого металу в зварювальній ванні залежно від параметрів зовнішнього електромагнітного впливу і режимів зварювання.

Вирішення проблеми ефективності процесу дугового зварювання з дією керуючих магнітних полів дозволить підвищити продуктивність процесу. Проведені дослідження підтвердили ефективність використання зовнішнього електромагнітного впливу в умовах зварювання під водою для усунення негативного впливу гідростатичного тиску та водного середовища.

УДК 621.762:004

**Морозова Г. С., старший викладач**  
**Матюшин В. О., магістр**

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова м. Миколаїв,  
amorozova711004@gmail.com

## **ПОСТАНОВКА НАТУРНОГО І ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПРЕСОВАНИХ ПОРОШКОВИХ БІМЕТАЛІВ**

Актуальність тематики дослідження зумовлена необхідністю створення матеріально-технічного та інформаційного забезпечення експериментального комплексу механічних випробувань порошкових матеріалів і біметалевих з'єднань. Методами порошкової металургії можна отримувати біметалеві композиції з новими міцнісними характеристиками [1], прямі експериментальні дослідження яких ускладнюються через анізотропію властивостей і пористу структуру. Постановка обчислювального експерименту дасть можливість уточнити результати випробувань та отримати на етапах технологічної проробки уявлення про їх напружено-деформований стан.

**Метою роботи** є розвиток можливостей дослідження механічних властивостей порошкових біметалів за допомогою комп'ютерного моделювання.

Методологічне підґрунтя досліджень становлять: систематизований огляд методів порошкової металургії, які застосовуються для одержання поліфункціональних біметалів [1]; теоретичні і практичні принципи постановки сучасного експерименту [2]; теоретичні засади комп'ютерного моделювання та технології проведення обчислювальних експериментів. Для розробки інформаційного забезпечення застосовано мову програмування Python [4], яка дає змогу обробляти великі масиви даних.

Експериментальні дослідження проведено на зразках, отриманих на кафедрі матеріалознавства і технології металів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Це зразки біметалевих з'єднань, отриманих методом гарячого пресування порошкової суміші на сталевий зразок [5]. Як приклад, на рис. 1 наведено оптичну мікрофотографію дослідного зразку, отриманого гарячим пресуванням суміші порошків бронзи і бабіту з компактним зразком сталі марки 12X18H9T. Об'єктом досліджень є процеси деформування порошкового шару під дією осьового навантаження.



Рис. 1 – Оптична мікрофотографія ( $\times 150$ ) дослідного біметалевого зразку

Особливість дослідного зразку полягатиме у тому, що компактний шар зі сталі марки 12X18H9T є ізотропним, а порошковий бронзобабітовий шар являє собою пористий анізотропний матеріал, у якому розбіг у значеннях мікротвердості перевищує 20 %. Цю неоднорідність структури і властивості й урівноважує розроблена комп'ютерна модель обчислюваного експерименту. Порівняння натурального і обчислювального експериментів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Постановка і результати натурального і обчислювального експериментів

Натурний експеримент	Обчислювальний експеримент
Мета – визначення границі міцності зразків на стискання	Мета – визначення розподілу напружень у порошковому шарі
Умови експерименту: механічне навантаження зразків з фіксованою швидкістю	Умови експерименту: враховується масштабний фактор дослідних зразків
Результати надаються у вигляді діаграми навантаження	Результати: автоматизація побудови муарових смуг і епюр розподілу напружень у порошковому шарі
Можливості: обмежені	Можливості: варіювання об'ємним вмістом порошкових компонентів і пористістю гарячепресованого матеріалу
Перспективи: застосування у навчальних цілях	Перспективи: прогнозування поведінки пресованих порошкових біметалів



У подальшому автори планують дослідити інші види деформування пресованих порошкових біметалів та реалізувати на практиці розроблену комп'ютерну модель.

**Висновок.** На прикладі навантаження порошкового біметалевого зразку осьовим тиском розглянуто мету, умови, результати і можливості постановки натурного і обчислювального експериментів; визначено перспективи і шляхи удосконалення інформаційного забезпечення.

#### Список посилань

1. Одержання біметалів методами порошкової металургії (Огляд) [Текст] / К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, К. К. Нгуен, Л. О. Радченко // Сучасні проблеми фізичного матеріалознавства: Збірник наук. праць. – К : ІПМ НАН України. – 2011. – Вип. 20. – С. 101-107.

2. Експериментальні методи в механіці деформованого твердого тіла: навчальний посібник [електронне мережеве видання] / В. О. Стрижало, М. В. Бородій. – Національний технічний університет України «Київській політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського. – 2022. – 306 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50563>

3. Комп'ютерне моделювання: системи і процеси: підручник [електронне мережеве видання] / І. В. Кравченко, В. І. Микитенко, Г. С. Тимчик – Національний технічний університет України «Київській політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського. – 2022. – 2022 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50552>

4. Скороход, О. М. Використання можливостей мови Python для роботи з великими об'ємами даних [Текст]. О. М. Скороход, А. С. Горяшин // Прикладні інформаційні технології: збірник наукових праць. – Вінниця, ДонНУ імені Василя Стуса. – 2023. – С. 238-239.

5. Казимиренко, Ю. О. Закономірності формування покриття з порошків бронзи та бабіту методом гарячого пресування [Текст] / Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева // Технологічний аудит і резерви виробництва : науч. журн. – Х. : Технологический центр, 2015. – № 5/7 (25). – С. 24–27.

УДК 621.79.01

Гаркуша М.В., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», maksimgarkche@gmail.com

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Відмінністю дифузійного зварювання від інших методів зварювання помірних температур нагрівання ( $0,3-0,8 T_{пл}$ ) і низьких стискаючих зусиль ( $0,3-0$  МПа) при ізотермічній витримці виробів від пари хвилин до декількох годин.

Дифузійне зварювання дає можливість знайти вирішення питання отримання відмінного з'єднання як однорідних, так і різнорідних матеріалів (алюмінію, титану, жароміцних та тугоплавких металів та сплавів, кераміки, скла, графіту, композиційних та порошкових матеріалів, тощо).

При дифузійному зварюванні допустима можливість створення міцного з'єднання між поверхнями з оксидними плівками, але гнучкість подібних з'єднань, як правило, порівняно низька. З'єднання металів мають відповідні особливості, якщо контактні поверхні ювенільні.

«Класична» технологія дифузійного зварювання передбачає наступні етапи:

- заготовки збираються у пристосуванні, що утворюють зусилля стику в стику;
- зібрану конструкцію вакуумують і розігрівають до потрібної температури зварювання;
- прикладають стискаюче зусилля на визначений час;
- у певних варіантах зварювання, після зняття зусилля, виріб додатково витримують при температурі зварювання для забезпечення протікання рекристалізаційних процесів;
- по завершенню циклу зварювання збірна зварена конструкція охолоджується у вакуумі, інертному середовищі або на повітрі в залежності від типу обладнання.

Параметрами циклу дифузійного зварювання у вакуумі є: температура, тиск, час витримки, ступінь розрідження, чистота обробки поверхні. У свою чергу, характеристики режиму зварювання обумовлюються фазовим складом і структурою металів (матеріалів), що з'єднуються, а також технологічною схемою і геометричними розмірами заготовок, що з'єднуються. Час зварювання обирається з урахуванням температури та тиску.

Залежно від розмірів і конфігурації виробів, що зварюються, в конструкціях використовують різні способи і приводи для створення стискаючого зусилля: гідравлічний, пневматичний, механічний, термонатягом, з вібраційними коливаннями штока та ін. Найбільш широкого застосування набули конструктивні рішення з гідравлічним приводом для створення тиску.

Розробка технологічного обладнання в галузі дифузійного зварювання в даний період здійснюється у напрямку уніфікування систем (вакуумної, нагрівання, тиску, керування) та зварювальних камер. Змінюючи камеру в цих установках, можна значно розширити номенклатуру вузлів, що зварюються.

На даний момент дифузійне зварювання застосовується у випадках, коли складно або взагалі неможливо отримати якісне зварне з'єднання з однорідних чи різнорідних металів (матеріалів). Одним з актуальних та перспективних напрямків дифузійного зварювання є формування тонкостінних шаруватих конструкцій, з'єднання пористих спечених заготовок нікелю з корозійностійкою сталлю при створенні пористих елементів фільтрів. Сфера застосування подібних вузлів – одержання патронних фільтрів, робочих коліс турбін замкнутого виду з титанового сплаву та ін.

#### Список посилань

1. Shtrikman, M. M. (2001). Current state and prospects of development of welding technologies in the aircraft industry. *Welding International*, 15(2), 128–134. <https://doi.org/10.1080/09507110109549330>
2. Owczarski, W. A. "Diffusion Welding." *SAE Transactions*, vol. 73, 1965, pp. 537–48. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/44553831>. Accessed 8 May 2024.
3. Ladislav Kolařík, Jiří Janovec, Marie Kolaříková, Pavel Nachtnabl, Influence of Diffusion Welding Time on Homogenous Steel Joints, *Procedia Engineering*, Volume 100, 2015, Pages 1678-1685, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.543>

**СЕКЦІЯ 6**  
**СУЧАСНІ ЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БУДІВНИЦТВІ,**  
**АРХІТЕКТУРИ ТА ДИЗАЙНІ. ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ**

UDC 624.131.537

**Mosicheva I.I., Ph.D., associate professor**  
**Shabalina A., student**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, [imosicheva@odaba.edu.ua](mailto:imosicheva@odaba.edu.ua)

**GENERAL TRENDS IN MANIFESTATION OF LANDSLADES IN DIFFERENT  
CONDITIONS BASED ON ANALYSIS OF WORLD RESEARCH**

With an unfavorable combination of various factors (use for construction of areas that were previously considered unsuitable, human intervention in the environment, changes in hydrogeological conditions, earthquakes, etc.), landslides may occur. Basically, most studies consider the following aspects of the landslide formation process [1-3]: methods for determining the stability coefficient; justification of the type of function describing the sliding surface of a landslide and its parameters; methods of calculation and design of landslide protection structures; results of inspection of landslide-prone areas and landslide sites.

A significant number of works are devoted to the qualitative description of landslide processes, including their classification and manifestation mechanisms.

However, the listed publications do not indicate which types of landslides or which causes of landslides are the most common.

At the first stage of research, our goal was to identify how the number of landslides depends on the seismicity of the territory and the amount of precipitation. Landslide locations were marked on the map of planet Earth. After this, this data was compared with zones of increased seismic activity, a map of precipitation distribution and a map of elevations.

Comparison of data allowed us to draw conclusions that the main landslide sites are located:

- in zones of volcanic and seismic activity;
- in places with increased annual precipitation;
- in places with mountainous terrain.

At the same time, the largest number of landslides occurs when several of the listed factors are combined (this trend is especially clearly expressed on the map of North and South America).

To quantify the influence of the factors listed above, as well as human activity on landslide formation, we used a formula [4] to determine the percentage of landslides caused by one reason or another out of their total number.

Data analysis allowed us to conclude that the main cause of landslides (more than 50%) is watering of soil foundations. At the same time, a significant percentage of landslides are caused by seismic activity (more than 30%). The most common type of landslides is sliding landslides (42%). Mudflows are slightly less common (32%).

To solve the problem, it is important to understand which landslide mechanism is the most common. This will allow focusing efforts on solving the problem of eliminating the most dangerous and widespread direction of the landslide process.

**References**

1. The most catastrophic landslides of the 20-21 century [Electronic resource]. Mostinfo.su. – 06 November, 2012 – 05 May, 2014. – Access mode: <http://mostinfo.su/79-samyebolshieopolzni.html>.
2. Slope stability analysis considering the deformation of slices / Y. Terado, H. Hazarika, Y. Yamazaki, H. Hayamizu // Slope Stability Engineering: Proceedings of the international symposium on slope stability engineering – is Shikoku'99, 11, November, 1999, Shikoku, Japan. – Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. – Vol.1. – pp. 265- 269.

3. Jiang J. C. Back Analysis of Unsaturated Strength Parameters from a Noncircular Slope Failure / J. C. Jiang, T. Tamagami, Y. Ueta // Landslides in research, theory and practice: Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides held in Cardiff on 26-30 June 2000. – London: Thomas Telford, 2000. – Vol.2. – pp.789-794.

4. Мосічева І. І. Мировые тенденции проявления оползней / І.І. Мосічева, В. С.Андреев, В. Г. Шаповал// Перспективи розвитку будівельних технологій: матеріали 12-ї науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – Дніпро: НГУ, 2018. – С.146-149.

УДК 725

**Iryna Bezklubenko, Ph.D., associate professor**

**Olena Balina, Ph.D., associate professor**

**Galina Getun, Ph.D., professor**

Kyiv National University of Construction and Architecture, [i.bezklubenko@gmail.com](mailto:i.bezklubenko@gmail.com)

**Yurij Butsenko, Ph.D., associate professor**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

### FEATURES STATIC CALCULATION OF ARCHES

The emergence of new types of structures and construction technologies related to them became the impetus for the search for new forms of buildings and structures and the development of a new understanding of space. Technical and economic calculations show that the area of coverings in buildings with large hall rooms, as a rule, exceeds the total area of other enclosing structures, and therefore the cost of coverings, taking into account installation work, is of predominant importance in construction estimates. Spatial forms of coverings of hall rooms significantly affect the architectural expressiveness of buildings, and therefore the issue of choosing forms, materials and rational constructive solutions of coverings is extremely relevant.

The most important components of the covering systems of buildings and structures are supporting structures, which have unlimited possibilities of interpretation of forms and materials, can be hidden or open and turn into architectural elements. It is obvious that in the process of designing the coverings of buildings and structures, it is necessary to consider and analyze various options for their constructive solutions [1].

The authors considered the problems of calculating and designing arches, choosing rational forms of arches that ensure the prevention of loss of their stability from the bending plane and a high aesthetic level. The main principles and methods of construction and static calculation of arches are presented.

The static calculation of arches begins with the determination of the supporting reactions  $M_{on}$ ,  $F_y$  and  $F_h$ . Usually, ready-made formulas are used for this, which are available in many reference books. The further calculation consists in determining the bending moments  $M_x$ , longitudinal  $N_x$  and transverse  $Q_x$  forces along the length of the arch according to the following formulas for considering arch sections with  $xy$  coordinates

$$M_x = M_{on} + M_x^\sigma - F_h \cdot y, \quad (1)$$

where  $M_{on}$  – the supporting moment;

$F_h$  – is the span of the arch, which is determined by the formula:

$$F_h = k \cdot M_c^\sigma / f, \quad (2)$$

where  $M_c^\sigma$  – the moment of a simple beam in the middle of the span;

$f$  – boom of the arch;

$k$  – coefficient, that takes into account the geometric and physical properties of arches [2].

$$N_x = -Q_x^\sigma \sin \alpha - F_h \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

where  $Q_x^\sigma$  – the transverse force of a simple beam;

$\alpha$  – the angle between the tangent to the axis of the arch in the section under consideration and the horizontal.

$$Q_x = Q_x^\sigma \cos \alpha - F_h \cdot \sin \alpha. \quad (4)$$

Formulas (1)...(4) make it possible to imagine the tense state of the arch, the full picture of which is given by the  $M$ ,  $N$  and  $Q$  plots, built along the entire length of the arch. The tectonic features of the arches of the three main types are revealed when comparing the curves of bending moments under the influence of uniformly distributed loads, which are given in the table. 1 [3,4].

Table 1 – Coefficients  $\mu$  of the calculated length of the arches

Arch type	Metal for $f/l$				Reinforced concrete	Wooden
	1/20	1/5	1/3	1/2,5		
Three-hinged	0,6	0,6	0,6	0,65	0,58	0,58
Two-hinged	0,5	0,55	0,6	0,65	0,54	0,35
Articulated	0,35	0,38	0,4	0,43	0,36	–

For elevated arches, wind loads are significant, which can change the patterns of stress states and deviation of pressure curves from the axes of the arches, cause negative support reactions and even tear off the structures from the supports.

All influences on the arches (own weight, snow, wind) find their detection in the form of corresponding plots, the vectors of which are summed up and the most unfavorable combinations are found. For structural calculations of arches of continuous sections, it is enough to determine  $M$ ,  $N$  and  $Q$  at their characteristic points (at the supports, in the middle and in the quarter spans).

Efforts in belts and lattices of arches of through structures are found based on the following considerations. It is assumed that the longitudinal force  $N$  is distributed between the upper and lower belts in accordance with their distance from the axis of the arch, and the moment  $M$  is opposed by the moment of the internal pair of forces - forces in the belts [5].

### References

1. Galyna Getun. Peculiarities of design of steel earthquake-resistant structures of high-rise buildings. / Galyna Getun, Vira Koliakova, Andriy Solomin, Iryna Bezklubenko // Building structures. Theory and practice. – Kyiv: KNUBA, 2022. – Issue 11. – pp. 18 – 31.
2. Galyna Getun. Analysis and classification of modern constructions of large span coverings of buildings. / Galyna Getun, Iryna Bezklubenko, Andriy Solomin // Modern problems of architecture and urban planning. – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 65. – pp. 216 – 225.
3. Galyna Getun. Stages of concrete development and experience of using reinforced concrete structures. / Galyna Getun, Iryna Bezklubenko, Victoria Kosheva, Ina Kosheva // Building structures. Theory and practice. – Kyiv: KNUBA, 2022. – Issue 10. – pp. 42 – 55.
4. Galyna Getun. Structural solutions of explosion-proof buildings with civil protection facilities. / Galyna Getun, Iryna Bezklubenko, Vira Koliakova, Andriy Solomin // Building structures. Theory and practice. – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue. 13. – pp. 41 – 50.
5. Gryhoriy Ivanchenko. Feature of design and calculations of complex reinforced concrete frames of buildings. / Gryhoriy Ivanchenko, Galyna Getun, Bezklubenko Iryna, Andriy Solomon // Strength of materials and theory of structures. – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 110, p. 108-117.

UDC 528.7:692

Ihor Petrenko, engineer  
 Daryna Zinchenko, student  
 Sitko Maksym, student

Timur Hanieiev, PhD, associate professor

Chernihiv Polytechnic National University, [igor.petrenko0511@gmail.com](mailto:igor.petrenko0511@gmail.com)

## PHOTOGRAMMETRY IN THE PRESERVATION OF CULTURAL AND HISTORICAL HERITAGE METHODOLOGY AND PERSPECTIVES

Photogrammetry, in a broad sense, is a technical discipline that deals with determining the size, shape, and position of objects based on their images in photographs.

The development of computer technology gave a powerful impetus to the development of photogrammetry methods and enabled the automated processing of images using a personal computer, which increased its availability and significantly expanded the limits of technology. At the moment, the combination of digital photography and specialized software makes it possible to create detailed three-dimensional models of both individual objects (remains of buildings, decorative elements, entire structures, etc.) and entire areas of the area.

The process of obtaining a three-dimensional model using photogrammetry can be divided into two stages - taking and processing the received photos. At the shooting stage, several series of photographs are taken that seem to surround the object and cover its surface from all angles (Fig. 1). Each subsequent frame of the series must overlap with the previous one by at least 30%, which will allow the software to combine the images. Since the triangulation method is used when calculating the geometry of the model, each point of the object must be in at least three photos. The more such points are found, the more accurate the model will be. After shooting a sufficient number of series of the general plan, which make it possible to capture the geometry of the object, it is necessary to additionally capture all significant details in close-up, so that they are correctly displayed on the finished model. The object should be lit evenly, without hard shadows or glare. When shooting in the field, the best result can be obtained when shooting in cloudy weather, because it is under such conditions that the lighting allows you to achieve the desired absence of shadows and reflections.

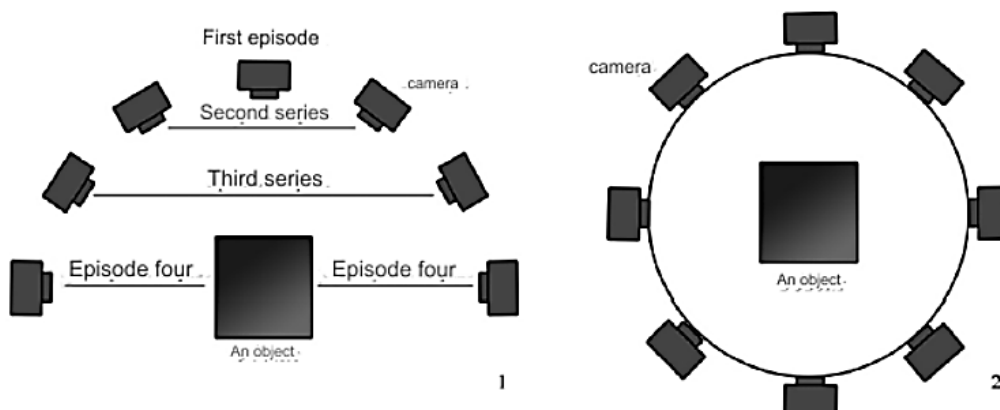


Fig. 1 – Camera positions during the shooting of the object: 1 – frontal view of the camera trajectory during the shooting of a series of pictures; 2 – top view of the camera position during the shooting of the second, third and fourth series

The use of technology, as well as the method of processing finished photographs, can be illustrated by the example of filming a part of the confetti column of the Drama Theater of the city of Chernihiv, namely the part of the knee that broke off during a missile strike (Fig. 2). As it was mentioned above, during filming, the main goal is to completely cover the area of the object. In the course of the work, four series of pictures were taken, describing closed circles around the

column element. Since the lower part was not captured during the shooting, an additional three bursts were shot covering it and the outer part of the element. Additional shots were taken from different angles to convey various details such as surface irregularities, ornamentation, etc. A total of 77 pictures with a resolution of 2992 by 2992 pixels were taken (Fig. 2).

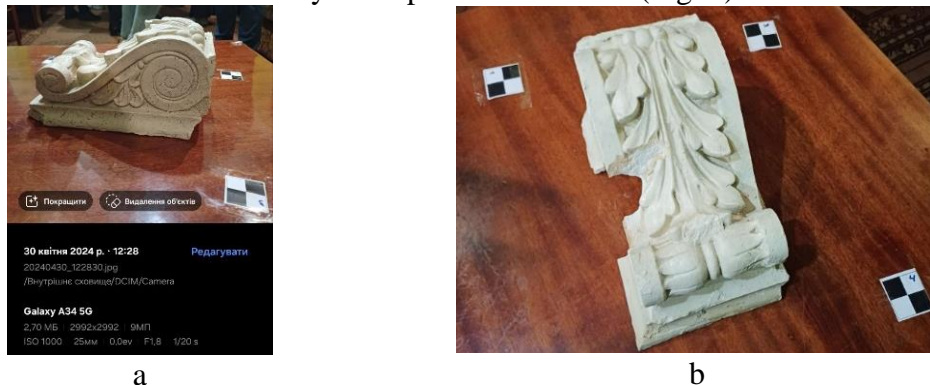


Fig. 2 – Types of element: a – photo parameters for processing; b – a photograph of the object

The resulting images were imported into the Reality Capture program. Before starting the search for common points, a mask was applied to each image, which separates the object from the other background. The use of masks allows you to glue the points taken on the upper and lower part of the vessel. At the stage of building the first model, the "camera alignment" command is executed, which allows you to determine the position of the cameras in space. When aligning, the values "maximum number of points" and "maximum number of projections" were set to 0, which means that there are no restrictions on their number. Accuracy is set to "high". The next stage is the construction of a dense cloud of points, on the basis of which a model will later be built, from which we obtained a model in STL format (Fig. 3), which is quite convenient to work with in other programs for processing a digitized object.

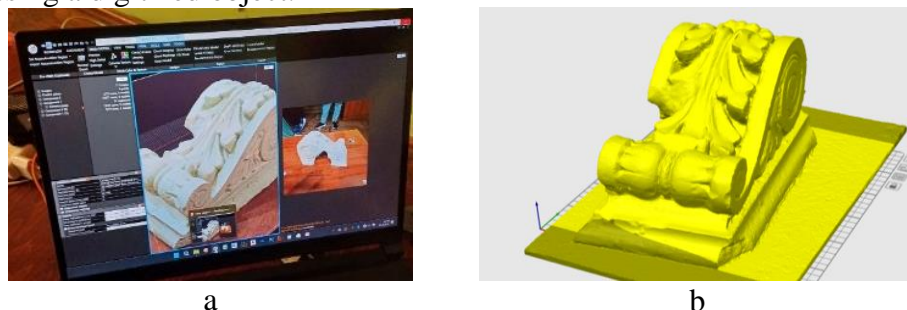


Fig. 3 – Model processing: a – object point cloud processing; b – received model in digital format

Thus, photogrammetry does not require significant financial and time costs and at the same time is a reliable and accurate way of fixing objects, which does not require any special training from the user. As with any other technology, photogrammetry has a number of disadvantages, including difficulties in recognizing moving objects, which can affect the quality of the result when photographing areas with tall grass. Also difficult to capture reflective and transparent surfaces such as puddles. If the shooting area is wet after rain, it is difficult to get usable data.

### References

1. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science The Ohio State University 2070 Neil Ave., Columbus, OH 43210
2. The Photogrammetric Record 27(137): 36–57 (March 2012) DOI: 10.1111/j.1477-9730.2011.00671.x
3. A historical review on panorama photogrammetry. Thomas Luhmann. University of Applied Sciences, Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Germany

UDK 691.3

**Maryna Kochevykh, Ph.D. technical Sciences, associate professor**  
**Olha Honchar, Ph.D. technical Sciences, associate professor,**  
**Dmytro Anopko, Ph.D. technical Sciences, associate professor,**

Kiev National University of Construction and Architecture, [kochevykh.mo@knuba.edu.ua](mailto:kochevykh.mo@knuba.edu.ua)

## **FEATURES OF USING RECYCLED CONCRETE IN RESTORATION WORKS**

Today, the rebuilding and reconstruction of a significant amount of destroyed infrastructure and residential buildings, which requires large expenditures of raw materials, is relevant for Ukraine. It is known that among construction waste, the amount of concrete is about 50%. Therefore, the possibility of effectively using crushed fragments of old concrete, which is formed during the destruction of buildings and structures, deserves attention. The use of such raw materials contributes to the reduction of transport and material costs, including through the use of mobile plants for the processing (shredding and sorting) of old concrete, which can be deployed directly on the site at the place of waste generation [1]. This excludes the process of transportation, as well as long-term storage with the use of useful land. Taking into account the properties of old concrete, the grinding product can be used for backfilling road lanes, filling pits, trenches, pits, for creating bases for foundations, construction embankments, drainage systems, as well as in landscape design. Important from the point of view of economy and ecology is the possibility of using such a material as crushed stone in concrete, which allows to reduce the material and energy consumption of their production. According to its properties (bulk density and crushing index), coarse concrete aggregate practically corresponds to natural rock aggregate, but its cost price is at least 5 times lower. For example, the grain strength grade of secondary aggregate obtained from C20 class concrete varies between 300 and 600 (which corresponds to aggregate from low-strength sedimentary rocks). The cost of concrete production with the use of secondary concrete aggregate is reduced by 25%, and it also makes it possible to use up to 75% of construction debris after dismantling the building. However, depending on the technology and degree of processing of aggregates, new concrete based on them may be characterized by low mechanical properties, increased shrinkage and reduced durability [2]. This is caused by the presence of cement-sand mortar residues on the surface of the recycled coarse aggregate. Ways of obtaining high-quality concrete based on recycled crushed stone (for example, for the restoration of the residential segment, the strength class of concrete be at least C20/25), there is the application of various methods of removing cement-sand solution from the surface of grinding products (mechanical, chemical, thermal), as well as the selection of a new concrete recipe using superplasticizers of the new generation, microfillers (to reduce shrinkage), and finally, limiting the amount of recycled aggregate in the composition of concrete. Depending on the strength class of concrete, the amount of recycled concrete aggregate can be 30...50% of the total mass of natural coarse aggregate. It is important to determine the properties of the old concrete in advance for the possibility of evaluating the quality of the recycled crushed stone, which guarantees the production of durable concrete with the necessary mechanical properties.

### **References**

1. F. de Andrade Salgado, F. de Andrade Silva, Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review, *Journal of Building Engineering*, Volume 52, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104452>
2. H. Guo, C. Shi, X. Guan, J. Zhu, Y. Ding, T.C. Ling, H. Zhang, Y. Wang. Durability of recycled aggregate concrete - A review, *Cement and Concrete Composites* (2018) 89, 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.03.008>



УДК 691.237:620.193

Болотов М.Г., канд. техн. наук, доцент  
Болотов Г.П., докт. техн. наук, професор  
Нагорна І.В., асистент

Національний університет «Чернігівська політехніка», bolotovmg@gmail.com

## БІОМІМІКРІЯ ЯК ІНОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНУ

На сьогоднішній день проблеми навколишнього середовища, пов'язані із значними викидами CO<sub>2</sub>, стають все більш актуальними і потребують негайного вирішення. В той же час відомо, що із виробництвом бетону, як основного будівельного матеріалу, пов'язано майже 10% від загальних викидів CO<sub>2</sub> в усьому світі. Разом із тим, відомо, що міцнісні властивості бетону, зокрема його корозійна та тріщиностійкість різко знижуються при потраплянні в пори його цементного каменю різного роду агресивних хімічних речовин, включаючи ті ж самі, вуглекислі гази, хлориди, сульфати, тощо [1, 2].

Пошук шляхів вирішення питань екології та підвищення тривалості строку експлуатації будівельних конструкцій, змусив інженерів шукати рішення в природі. Це стало поштовхом для появи нового сучасного тренду в сфері інженерії, що отримав назву – біомімікрія, як елемент запозичення природних моделей, паттернів і систем задля створення регенеративних рішень, пов'язаних зі сталим розвитком, зокрема в будівельній сфері. Біомімікрія в будівництві покликана, насамперед, знизити емісію CO<sub>2</sub>, мінімізувати споживання ресурсів, шляхом використання перероблених, біо-, або еко-матеріалів, максимально імплементувати будівництво в природу створивши, тим самим, нетоксичне та безпечне для довкілля архітектурне середовище [3].

Біо-бетон повністю відповідає даній концепції, оскільки являє собою само-відновлювальну систему, подібну до роботи вегетативної системи людини, що реагує на появу розривів або переломів шляхом ініціалізації певних хімічних сигналів із наступним постачанням в місце травми відновлювальних біологічних агентів. В якості таких “тріщино-ущільнюючих” агентів можуть виступати бактеріальні культури, що приймають участь в утворенні вапняку (CaCO<sub>3</sub>) і вільно існують в лужному середовищі порової вологи цементного каменю. В роботі [4] показано, що в якості таких бактерій можуть виступати ціанобактерії, пурпурні бактерії та метаногенні археї. Реакція відновлення бетону, в цьому випадку, буде відбуватися за наступною схемою: 1) CO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O; 2) CH<sub>4</sub> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + HS<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>O; 3) Ca<sup>2+</sup> + 2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O. При цьому, кисень і вуглекислий газ, що надходить в цементний камінь із навколишнього середовища перетворюється в метан (CH<sub>4</sub>), в наслідок метаногенезу, як побічного продукту діяльності археї. Сульфати (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), що також надходять до капілярів цементного каменю ззовні слугують своєрідним хімічним імпульсом задля активації відновлювальних агентів, окислюючи метан формуючи анаеробні бікарбонати (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), який реагуючи із іонами кальцію (Ca<sup>2+</sup>) буде відновлювати вапняк. Таким чином відновлювати сам цементний камінь бетону.

### Список посилань

1. Болотов, Г. Г. Аналіз ефективності застосування мігруючих інгібіторів корозії (МІК) для підвищення експлуатаційної довговічності залізобетону / Г. Болотов, С. Цибуля, М. Болотов, І. Прибитько, С. Ющенко // Технічні науки та технології. – 2022. – № 1 (27). – С. 199-210.
2. Болотов, М. Шляхи підвищення корозійної стійкості залізобетону / М. Болотов, Г. Болотов, І. Прибитько, М. Корзаченко // Технічні науки та технології. – 2019. – № 4 (18). – С. 247-258.
3. Sabry Moheb A., El-Sherif, Amir Y. Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. AEJ 2016, Volume 55, pp. 707-714.
4. Wang J. Y., H. Verstrare W, De Belie N. . Self-healing concrete by use of microencapsulated bacteria spores. Cement Concrete Res 2014, pp. 139-152.

УДК 658.5

Савенко В.І. докт. техн. наук, професор  
Нестеренко І.С. канд. техн. наук, доцент  
Ткачук В. М., студент

Київський національний університет будівництва і архітектури, [savenkoknuba@gmail.com](mailto:savenkoknuba@gmail.com)

## **ЦІЛІ ЯК ФОРМУЮЧИЙ ФАКТОР ВИРОБНИЧОЇ (БУДІВЕЛЬНОЇ) ОРГАНІЗАЦІЇ**

Цілі виникають з природної доцільності або телеомії. На рівні біологічних систем і організмів телеомія не породжує цілей як таких, а виникають корисні, необхідні життєво важливі дії чи процеси.

Соціальні, штучно створені з певною метою системи, організації мають певний напрямок дій, доцільних і корисних для організації. Цей доцільний напрямок дій, маючи субактивний зміст, набуває конкретного характеру у вигляді мети, цілі.

Діяльність кожного елемента організації: керівників, виконавців – суб'єктів і головних дійових осіб організації несе в собі телеомію, тобто доцільність. Всі зацікавлені в отриманні зарплати, а для цього треба створити продукцію чи послугу і реалізувати її, отримавши кінцевий цінний продукт і винагороду за нього. Телеомічні властивості притаманні і організаційним системам, як таким. В цільовій структурі організацій для її виживання, збереження рівноваги, стабільності виникають потреби у вирішенні спеціальних задач по досягненню внутрішньої і зовнішньої безпеки.

В діяльність створених людьми штучних організацій спеціально закладаються такі функції, такі технічні і організаційні системи, які направлені людьми на спеціальні організаційні дії для досягнення цілей організації. Досягнення цих цілей пов'язане з такими чинниками як : люди (керівники, виконавці), машини (обладнання, інфраструктура, інструмент), усі види ресурсів (матеріальні, фінансові, енергетичні, інформаційні, інтелектуальні, час і т.д.), технології (методи, проекти, наукові розробки і т.д.).

Знеособлена структура організацій теж будується цілеспрямовано в залежності від характеру і виду діяльності. Конструювання організаційної структури здійснюється за певними законами в залежності від функцій, яку доведеться виконувати створюваній організації.

1. Керованість організації – один з найважливіших показників благополучного функціонування соціальної виробничої системи. І означає наскільки повно і чітко виконуються команди (чи рішення) керуючої підсистеми, керованою підсистемою.

Керованість може оцінюватись з двох основних позицій:

А. Узгодженість цілей з діями підрозділів і окремих членів організації.

Б. Виконання прийнятих рішень чи команд “зверху” керованими підрозділами.

Узгодженість цілей і дій підрозділів і членів організації характеризується такими основними чинниками:

а) чіткість і досяжність цілей визначаються видом, якістю і змістом цілей;

б) стратегічні (ідеологія, місія, політика і т.д.);

в) довготермінові цілі;

г) оперативні (цілі підрозділів, служб, співробітників);

д) мотивовані цілі (ступінь стимулювання);

е) відпрацьовані, технологічні цілі, сплановані програми і т.д.;

ж) корпоративна культура, участь у здійсненні і зацікавленість всього колективу.

Виконання прийнятих рішень і наказів керівництва організації по термінах і по якості та повноті можна відстежити по документах: наказах, протоколах засідань і оперативних нарад за участю керівників організації усіх рівнів, а також за результатами внутрішніх та зовнішніх аудиторів і перевірок в компанії.

2. Інноваційність цілей.

Інноваційність – здатність генерувати і впроваджувати нові ідеї. Нові ідеї, як правило, зустрічають опір консервативної частини колективу організації в тому числі і керівництва, яке не хоче ризикувати керуваністю компанії і своїми посадами.

Для інновацій необхідні певні умови:

- 1) відкритість і готовність до нововведень;
- 2) проактивність управління, яке повинно не тільки адекватно реагувати, а й створювати, провокувати необхідний клімат і реакцію оточення;
- 3) здатність і волю вищого керівництва до повного впровадження інноваційної ідеї (що значно додає навантаження менеджменту організації);
- 4) наявність науково-технічної бази, лабораторій, партнерів та ресурсів для проведення досліджень, розробок і їх впровадження.

3. Конкурентоздатність і попит на продукцію і послуги організації на ринку.

Для їх оцінки і підвищення використовують маркетингові дослідження, рекламно-іміджеві заходи, анкетування замовників, інвесторів, власного персоналу організації.

#### Список посилань

1. Савенко В.І. Синергетичний підхід як альтернатива ринковим методам управління виробничими економічними системами / В.І. Савенко, В.В. Ключова, М.О. Терещук, Р.Ю. Жалдак // Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: літні диспути: тези доп. II Міжнародної науково-практичної інтернет конференції, 17-18 серпня 2020 р. – Дніпро, 2020. – С. 413-415.
2. Савенко В.І., Калита П.Я., Фіалко Н.М., Макаренко В.Д., Ключова В.В., Нестеренко І.С., Кущенко І.В. та ін. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи. Вид.3 Монографія – Київ: Центр учбової літератури, 2022 – 236 с.
3. Савенко В.І. Фактори ефективного розвитку будівельної організації / В.І. Савенко, І.С. Нестеренко, В.В. Ключова // Сучасний рух науки: тези доп. VIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 жовтня 2019 р. – Дніпро, 2019. – Т.3. – С.192-195

УДК 69.003:658.15.011.46

**Шатрова І.А., канд. техн наук, доцент**  
**Демидова О.О., канд. техн наук, доцент**  
**Мальонкіна І.С., студентка**

Київський національний університет будівництва і архітектури, [inna.shatrova@gmail.com](mailto:inna.shatrova@gmail.com)

### ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА

В даний час будівництво – одна з базових галузей економіки України, яка вирішує завдання не тільки соціального плану (будівництво та ремонт житла для громадян), а також державного характеру (забезпечення обсягу ВВП). Основна проблема галузі – необхідність побудувати, з одного боку, швидко і дешево, а з іншого – надійно та якісно.

Можна стверджувати, що безпека є одним із найважливіших аспектів якості.

Технічні регламенти приймаються з метою:

- 1) захисту життя та здоров'я громадян, майна фізичних, юридичних осіб, державного чи муніципального майна;
- 2) охорони навколишнього середовища, життя та здоров'я тварин та рослин;
- 3) попередження дій, що вводять в оману набувачів;
- 4) забезпечення енергетичної ефективності будівель та споруд.

Якість процесів будівництва – комплексна проблема, що включає дотримання вимог будівельних норм і правил, державних стандартів усіма учасниками будівельного процесу, що є запорукою довговічності та експлуатаційної надійності будівель та споруд, їх екологічної чистоти, безпеки для людей і, зрештою, економічності під час експлуатації.

Контроль якості будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та виконаних робіт здійснюється шляхом їх суцільної чи вибіркової перевірки, розтин у необхідних випадках

раніше виконаних прихованих робіт і конструкцій, а також випробування зведених конструкцій (неруйнівними методами, навантаженнями та іншими способами) на міцність, стійкість, осадку, звуко- та теплоізоляцію та інші фізико-механічні та технічні властивості в цілях співставлення до вимог проекту та нормативних документів [1].

Система контролю якості у будівельній галузі є багатоступінчастою і згідно ДБН повинна включати:

- операційний контроль якості будівельно-монтажних робіт та дотримання основних технологічних регламентів;
- вхідний контроль якості застосовуваних будівельних матеріалів, конструкцій та обладнання;
- приймальний контроль закінчених технологічних етапів, окремих видів робіт та об'єктів в цілому;
- авторський нагляд проектної організації;
- технічний нагляд замовника;
- державний будівельний нагляд. [2]

Однак дана система контролю якості не забезпечує якості процесу будівництва, яке, як відомо, залежить від грамотних архітектурних рішень та якісних матеріалів, а також від професіоналізму будівельників.

Основним завданням проектно-вишукувальних організацій є випуск якісної проектної продукції або надання якісних проектно-дослідницьких послуг, які:

- а) відповідають певним потребам, сфері застосування чи призначення;
- б) задовольняють очікування споживача;
- в) відповідають законодавству, прийнятим стандартам та іншим нормативам;
- г) відповідають вимогам товариства;
- д) відображають вимоги щодо навколишнього середовища;
- е) реалізуються за конкурентоспроможною ціною;

Для гарантії якості проектних рішень необхідна розробка нормативних документів, що забезпечуватимуть життя та здоров'я населення, охорону навколишнього середовища, конструктивну стійкість та надійність будівельних конструкцій та виробів, систем інженерного обладнання будівель та споруд, сумісність проектування та будівництва [3].

Ці напрями орієнтовані формування та перевірку вимог до якості проектної документації, тобто перевірку якості вже готової проектної продукції. Зрозуміло, що при цьому якість можна лише оцінити, але не можна поліпшити, оскільки воно вже сформоване. Можна тільки сформувані іншу якість, витративши нові засоби, ресурси та час. На жаль, в діючих організаціях продовжують спрямовувати зусилля на виправлення браку, а не на його попередження.

Контроль якості будівельно-монтажних робіт (БМР) проводиться з метою з'ясування та забезпечення відповідності виконуваних робіт і матеріалів, виробів та конструкцій вимогам проекту, ДБН та інших чинних нормативних документів.

Ця мета досягається вирішенням наступних завдань:

- визначення відповідності показників якості будівельних матеріалів та виконуваних БМР установленим вимогам;
- своєчасне виявлення, усунення та попередження перші дефектів, браку та порушень правил виконання робіт, а також причин їх виникнення;
- підвищення якості БМР, зниження невиробничих витрат на переробку браку;
- підвищення виробничої та технологічної дисципліни, відповідальності працівників за забезпечення якості БМР.

#### Список посилань

1. Савенко В.І. Генем ділової досконалості і ділова культура виробничої організації - основа культури виробничих відносин суспільства / В.І.Савенко, І.А.Шатрова, О.О.Демидова,

І.С.Нестеренко, Ю.В.Орлик // Збірник наукових праць «Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин». – Вип.48, Частина 1. – Технічний, ТОВ «Видавництво «Ліра-К», ISSN 2707-9376 (Online) 2021 – С.21-29.

2. Шатрова І.А. Вимоги до якості будівельної продукції / І.А.Шатрова, О.О.Демидова. // XXVI International scientific and practical conference «Problems of science and practice, tasks and ways to solve them», Helsinki, Finland, July 2022. – р 27-30. ISBN 979-8-88722-621-7. DOI 10.46299/ISG.2022.1.26

3. ДСТУ 9243.4:2023 Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної документації. – Чинний від 2024-04-01 – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2023.

УДК 69:658.5

**Войтович В.А., аспірант**

Київський національний університет будівництва та архітектури, [lvad.voytovich@gmail.com](mailto:lvad.voytovich@gmail.com)

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПРАКТИЧНІ ПОРАДИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ У ВИРОБНИЧИХ СЕРЕДОВИЩАХ

У сучасному висококонкурентному бізнес-середовищі ефективна оптимізація виробничих процесів має вирішальне значення для досягнення максимальної ефективності, мінімізації витрат і збереження конкурентоспроможності. Однак впровадження стратегій оптимізації у виробничому середовищі може бути складним і комплексним. Тому важливо розуміти, які практичні рекомендації та найкращі практики слід використовувати організаціям, які прагнуть успішно впровадити стратегії оптимізації у своїх виробничих операціях. Оптимізація не тільки підвищує продуктивність і економічну ефективність, але також підвищує гнучкість і конкурентоспроможність. Оптимізація виробничих планів і робочих планів передбачає систематичний перегляд, уточнення та вдосконалення операційних процесів для досягнення оптимальних результатів. Це охоплює різні аспекти, включаючи використання ресурсів, планування, управління запасами та дизайн робочого процесу. Звідси маємо ключові напрямки будівельної організації, згідно яких вона може розвивати свою продукцію в тому чи іншому напрямку (рис. 1).

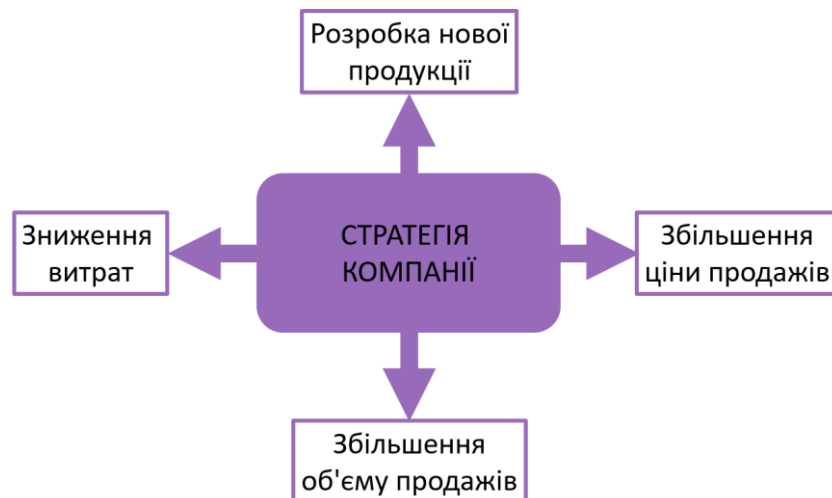


Рис. 1 – Напрямки стратегії будівельної компанії

Програми оптимізації дозволяють будівельним організаціям випереджати та процвітати в динамічному ринковому середовищі за рахунок максимального підвищення ефективності, зниження витрат, покращення якості та збільшення гнучкості. Поєднуючи це та застосовуючи стратегічний підхід, використовуючи дані та технології, розвиваючи культуру постійного вдосконалення, будівельні організації можуть розкрити повний потенціал своїх виробничих операцій і досягти довгострокового сталого зростання.

УДК 623.6

Сахно Є.Ю., докт. техн. наук, професор  
Терещук О.І., канд. техн. наук, професор  
Коваленко С.В., канд. пед. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», evsakhno@ukr.net

## ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Використання космічних технологій є ефективним засобом моніторингу стану навколишнього середовища. Завдяки оперативності та об'єктивності одержання інформації, дані дистанційного зондування Землі виступають важливим джерелом побудови геоінформаційних систем. Отримана аерокосмічна інформація використовується для аналізу, доповнення, узагальнення та деталізації даних, отриманих з наземних джерел і вона використовується в різних сферах господарства України. Використання систем дистанційного зондування Землі дозволяє проводити виконання землевпорядних робіт з використанням матеріалів аерознімання, як найбільш повних та інформативно ємних, що дозволяють вирішувати складні задачі землеустрою і земельного кадастру оперативно, з високою точністю і меншими витратами часу. При цьому одержання фотозображення аерофотознімального процесу, з врахуванням оптичних властивостей елементів ландшафту і їхньої відбивної здатності, обробки матеріалів аерознімання з визначенням геометричних властивостей аерознімка, дешифрування і трансформування знімків, роботи із хмарою точок, створення планів, 3D моделей і карт за матеріалами аерофотознімання є досить складною та відповідальною роботою [1-3].

В даний час існує широкий клас систем ДЗЗ, що формують зображення досліджуваної Земної поверхні. Існує багато видів програмного забезпечення, призначеного для роботи з супутниковими знімками. Ось деякі з них:

- ArcGIS - одна з провідних геоінформаційних систем, яка включає в себе інструменти для обробки, аналізу та візуалізації супутникових знімків;
- ENVI - програмне забезпечення, спеціально призначене для обробки та аналізу супутникових знімків. Воно надає широкий спектр інструментів для роботи з растровими та гіперспектральними зображеннями;
- Erdas Imagine - програмне забезпечення для обробки та аналізу геопросторових даних, включаючи супутникові знімки. Воно надає потужні інструменти для обробки, візуалізації та аналізу великих обсягів даних;
- QGIS - безкоштовна та відкрита геоінформаційна система, яка підтримує обробку супутникових знімків. Вона має багато додаткових плагінів та інструментів, що дозволяють робити різноманітні операції з зображеннями;
- Global Mapper - програмне забезпечення для глобального картографування, яке також підтримує обробку супутникових знімків. Воно надає інструменти для обробки та аналізу растрових та векторних даних;
- Google Earth Engine- хмарна платформа для обробки та аналізу супутникових знімків, що розроблена Google. Вона надає доступ до великого обсягу геопросторових даних і надає можливості для виконання складних аналітичних завдань;
- Digitals - одна з найпоширеніших програм комерційної обробки супутникових знімків. Є однією з найлегших в освоєнні, а також одна з найкомплексніших, оскільки надає широкий спектр геодезичних, картографічних, землевпорядних та містобудівельних інструментів.

Наведені програми представляють лише декілька прикладів програмного забезпечення, доступного для роботи з супутниковими знімками. Кожна з них має свої унікальні функції

та можливості, тому вибір залежить від конкретних потреб та вимог користувача і замовників отриманих даних.

Найбільш популярні системи дистанційного зондування Землі є [1] Landsat, Sentinel, Terra (Modis, Aster), RapidEye, Planet Labs. Для прикладу наведемо дистанційне зондування Землі в системі Copernicus (рис.1), що є комплексом спостереження за Землею космічної програми Європейського Союзу, який проводить моніторинг нашої планети та її навколишнього середовища. Керує Програмою Європейська Комісія. Він реалізується у партнерстві з державами-членами, Європейським космічним агентством (ESA), Європейською організацією з експлуатації метеорологічних супутників (EUMETSAT), Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), агентствами ЄС та Mercator Ocean, Європейське агентство з навколишнього середовища (EEA), Спільний дослідницький центр (JRC) [3]. В комплексів представлено великий обсяг глобальних даних із супутників, бортових і морських вимірювальних систем, що надають безкоштовну інформацію для допомоги громадянам, постачальникам послуг, державним органам влади та іншим міжнародним організаціям.

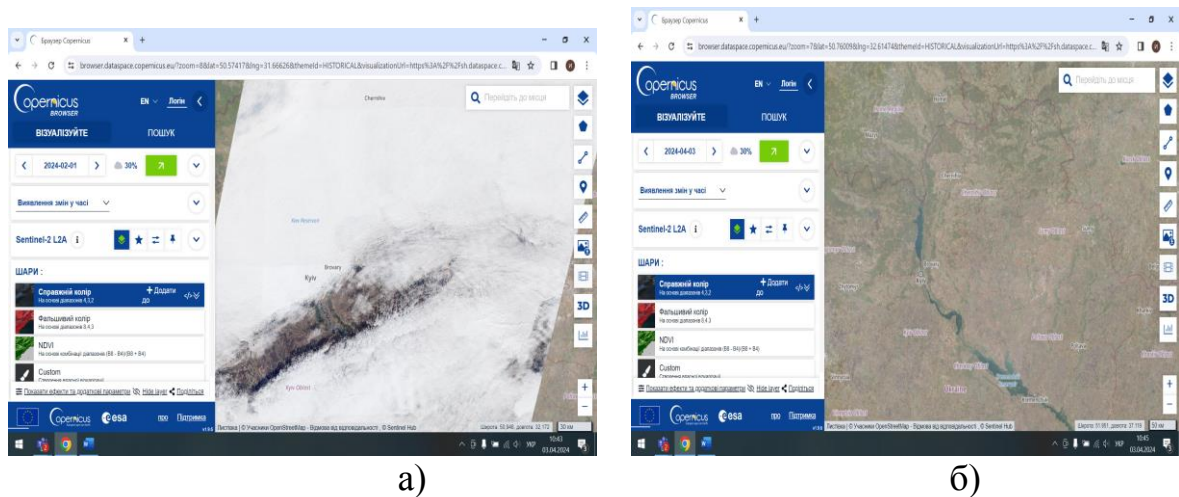


Рис. 1 – Моніторинг земної поверхні півночі України в динаміці в системі Copernicus: а) 01.02.2024; б) 03.04.2024

Таким чином використовуючи системи дистанційного зондування Землі, і маючи базу даних від супутників, безпілотників і датчиків з'являється можливість спостерігати за процесами в режимі реального часу та у різних форматах спостережень. Точність та інформаційна наповненість космічних знімків постійно зростає а також удосконалюються технології космічної зйомки, збільшується роздільна здатність та спектр спостережень. Поєднання технологій дистанційного зондування Землі з геоінформаційними системами відкриває нові можливості та дозволяє отримувати об'єктивну та достовірну інформацію яка є основою інноваційного розвитку економіки держави.

#### Список посилань

1. Довгий С.О. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб./ Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О.В., Юрків Л.- К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. - 316 с
2. Сахно Є.Ю. Використання сучасних інформаційних технологій для визначення координат об'єктів, що рухаються/Сахно Є.Ю., Терещук О.І., Коваленко С.В.// Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.): у 2 т./ Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 2.- С. 137-139.
3. Copernicus. Режим доступу: <https://www.copernicus.eu/en>.

УДК 624.954

Мозговий А.О., докт. техн. наук, доцент

Бутенко А.А., аспірант

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
mozgovoyandrey@ukr.net

## ДОСВІД ДОСЛІДЖЕННЯ ОСІДАНЬ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТІВ СТАЛЕВИХ СИЛОСІВ

Під час проектування або експлуатації великорозмірних силосів обов'язковим контрольованим критерієм є неперевикнення гранично допустимих осідань основ та кренів, який регламентується ДБН В.2.6-221:2021 [1]. Граничне значення осідання силосів згідно із п. 6.8 [1] складає  $S_{\max,u} = 150$  мм.

Перші зняття відліків проводять після монтажу деформаційних марок на зведених спорудах, але перед початком завантаження зерном. Наступні відліки – після кожного етапу первинного завантаження силосу (1/3, 2/3 висоти силосу та на всю висоту силосу відповідно). Останній відлік – після 100 % завантаження силосу.

Дослідження фундаментів силосів відіграє важливу роль у дослідженні конструкції фундаментів і ефективності її роботи безпосередньо, але й поведінки основи фундаменту від дії визначених значень навантажень, що прикладені у визначений час. Процес завантаження зерновим продуктом дає можливість контролювати точні значення прикладення навантажень. Особливий інтерес викликає первинне завантаження силосу.

Вимірювати деформації основи на етапі будівництва фундаменту практично складно і, як правило, моніторинг за осіданнями проводять після зведення фундаменту по установленим у ньому деформаційним маркам. Інколи деформаційні марки встановлюються вже після зведення надземної сталевої оболонки силосу. Таким чином, власна вага фундаменту силосу і його конструкцій не враховується у процесі спостережень за осіданнями. Навантаження від власної ваги фундаменту складає від 20 % до 50 % від загального навантаження. Це свідчить про доцільність моніторингу осідань на етапі будівництва.

Внаслідок циклічного характеру навантажень загальні осідання, а також нерівномірні осідання фундаменту за період експлуатації можуть збільшуватись.

Із досвіду геодезичного моніторингу осідань силосів на підсиленних основах засвідчено, що, зазвичай, фактичні осідання мають значення до 50 мм. Етап завантаження може викликати деформації зі значеннями до 10 – 20 мм. Згідно діючих норм [2], для моніторингу деформацій осідання допустима похибка при вимірюванні не повинна перевищувати 2 мм для основ складених глинистими ґрунтами та 1 мм для основ складених піщаними ґрунтами. Клас точності вимірювання – II. Прилади, що використовуються для вимірювань осідань мають відповідати зазначеним вимогам за точністю вимірювань.

Для великорозмірних фундаментів різниця осідання в межах фундаменту може відрізнитись наступним чином. Значення середнього осідання складає 25 мм і зазвичай коливається в діапазоні від 10 мм до 50 мм. При цьому максимальне середнє відхилення осідання складає до 8 мм, а максимальне нерівномірне відхилення осідання – до 15 мм. Відносна різниця осідань основи  $\frac{\Delta s}{l}$ , як правило, не перевищує гранично допустимого значення 0,002 [3]. Відмінності жорсткостей конструкції в напрямку підземної галереї та в поперечному напрямку, відмінності геологічної будови ділянки у межах фундаменту обумовлюють різницю осідань ділянок фундаменту, що інколи викликає додаткові зусилля в його конструкції. Вимоги [4] щодо вимірювань розповсюджуються на деформації осідання периметру, в той час як вимірювання деформацій по осі фундаменту в центральній його частині інколи не проводиться взагалі. Враховуючи, що деформації осідання у



центральної частині фундаменту зазвичай перевищують осідання периметру на 15 – 20% постає необхідність геодезичного моніторингу величини прогину підземної галереї.

Збільшення попиту на відновлення будівельної інфраструктури посприяло залученню сучасних вимірювальних технологій, зокрема, лазерного 3D сканування висотних будівель і споруд, що раніше набуло широкого застосування в інженерній практиці за кордоном [4].

Проведено експериментальне дослідження із застосуванням геодезичного моніторингу та лазерного 3D сканування осідань сталевих силосу у с. Григорівка Чернігівської області. Для дослідження загального характеру деформації фундаменту і визначення фактичної деформованої схеми було застосовано технологію тривимірного сканування на етапах початкових навантажень силосу та повного завантаження. Під час обробки результатів сканування вимірювались переміщення опорних частин вертикальних стояків силосу, які заздалегідь були очищені і промарковані. Геодезичний моніторинг проводився паралельно і незалежно від сканування. Шляхом нівелювання вимірювались деформації вертикального осідання заздалегідь закріплених на фундаменті восьми деформаційних марок.

Для сканування використовувався лазерний сканер Leica BLK360 – Leica Geosystems, який має наступні характеристики: кутова точність – 18", точність вимірювання відстані – 1.0 мм + 10 ppm, 3D розташування – 1.9 мм на 10 м / 2.9 мм на 20 м / 5.3 мм на 40 м. За результатами обробки та співставлення даних вимірювань класичними геодезичними приладами й сканером встановлено, що точність сканера не задовольняє вимоги діючих нормативних документів [2, 5]. На основі отриманого досвіду можна зробити висновки та надати наступні рекомендації: а) для дослідження слід обирати сканери з точністю до 1 мм. Втрата точності може проявлятися як при вимірюванні, так і при суміщенні станцій; б) стоянки приладу слід призначати із дотриманням відстані з умови точності вимірювання. Для сканера Leica BLK360 ця відстань в межах 6 м, а нерівність плечей на станції не більше 3 м. З аналогічних умов також обираються відстані до репера; в) деформаційні марки рекомендується використовувати із плівкового світловідбивача, який жорстко закріплюється на нижній частині конструкції силосу. Без світловідбивача деякі поверхні майже не відображають промінь, а поглинають його; г) не використовувати сканер за холодних погодних умов, а також вітру.

Перевагою застосування сканера для досліджень деформованої схеми являється можливість автоматичного фіксування значної кількості точок. У той час невеликим будуть точність і умови підготовки до вимірювання.

### Список посилань

1. ДБН В.2.6-221:2021. Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення. – [На заміну ДБН В.2.2-8-98 ; чинний від 2022-09-01]. – Вид. офіц. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2022. – 7 с. – Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075031566888470234?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075031566888470234?doc_type=2)
2. ДСТУ Б В.2.1-30:2014. Ґрунти. Методи вимірювання деформацій онов будинків та споруд. – [На заміну ГОСТ 24846-81 ; чинний від 2015-07-01]. – Вид. офіц. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 29 с. – (Державний стандарт України). – Режим доступу: <http://surl.li/tkzbt>
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – [На заміну ДБН В.2.1-10-2009 ; чинний від 2019-01-01]. – Вид. офіц. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 36 с. – Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3082795291120764490?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3082795291120764490?doc_type=2)
4. Ismail S. Case study of the Beirut port explosion using 3D laser scan and nonlinear finite element model [Electronic resource] / S. Ismail, W. Raphael, E. Durand // Research on Engineering Structures and Materials. – 2021. – Vol. 7, no. 4. – P. 551–577. Mode of access: <http://dx.doi.org/10.17515/resm2021.286st0428> (date of access: 27.04.2024). – Title from screen.
5. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи в будівництві. Система забезпечення точності геометричних параметрів в будівництві. Зі зміною №1. [На заміну СНиП 3.01.03-84 ; чинний від 2010-01-21]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с. – (Державні будівельні норми). – Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3199637436816688486?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199637436816688486?doc_type=2)

УДК 69.057

Тонкачев Г.М., докт. техн. наук, професор  
Носач К. В., аспірантка

Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури, [archicte@gmail.com](mailto:archicte@gmail.com)

## ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ СТОВПЧАСТИХ ФУНДАМЕНТІВ

Каркасні споруди є одним з найрозповсюдженіших способів зведення будівель виробничого або логістичного призначення, а також мають тенденцію до збільшення обсягу виробництва у майбутньому. Виникає потреба пошуку рішень, здатних пришвидшити процес зведення будівель, проте, без втрати якісних експлуатаційних характеристик готових конструкцій. Широко застосовувані збірні та монолітні технології зведення мають свій ряд переваг та недоліків. Для монолітної технології недоліками є висока ймовірність виконання неточних геометричних з'єднань, оскільки формують опалубка виконується безпосередньо на будмайданчику; також, монолітні конструкції потребують дотримання технологічних перерв для тверднення бетонної суміші. Щодо збірних конструкцій, то основною проблемою є доставка готових елементів, а також трудомісткість влаштування з'єднань елементів. Тому, як в українській, та і у світовій практиці виник попит комбінування двох технологій для використання переваг кожної з них. Постає питання про дослідження комбінацій збірних і монолітних елементів конструкцій та їх спільної роботи, а також знаходження алгоритму, що спростить пошук потрібного технологічного рішення. Запропоновано до розгляду виконання стовпчастого збірно-монолітного фундаменту, що складається із фундаментної плити та стакана під колону. Виконується аналіз двох варіантів: перший – із монолітною плитою та збірним стаканом, та, другий – із збірною плитою та монолітним стаканом. Для обох варіантів за рахунок виготовленого попередньо елемента скорочується час для влаштування залізобетонного елемента та тужавлення бетону. [1] Також, для покращення показників швидкості у другому варіанті розглядається використання модуля-маніпулятора для додаткової фіксації конструкції стакана та колони.

**1. Монолітно-збірний,** із монолітною плитою фундаменту та збірним стаканом. [2,3]. На бетонну підготовку із витримкою не менш, ніж 50% від  $R_{28}$  монтують стакан фундаменту, далі армують окремими стержнями плиту та встановлюють опалубку. Виконують бетонування плити із подальшою витримкою бетону до 70% від  $R_{28}$ . Далі, після технологічної перерви відбувається монтаж збірних колон із замоноличуванням стиків та подальшою витримкою бетону до міцності 70% від  $R_{28}$ . Демонтаж опалубки можна виконувати при наборі міцності 30% від  $R_{28}$ .

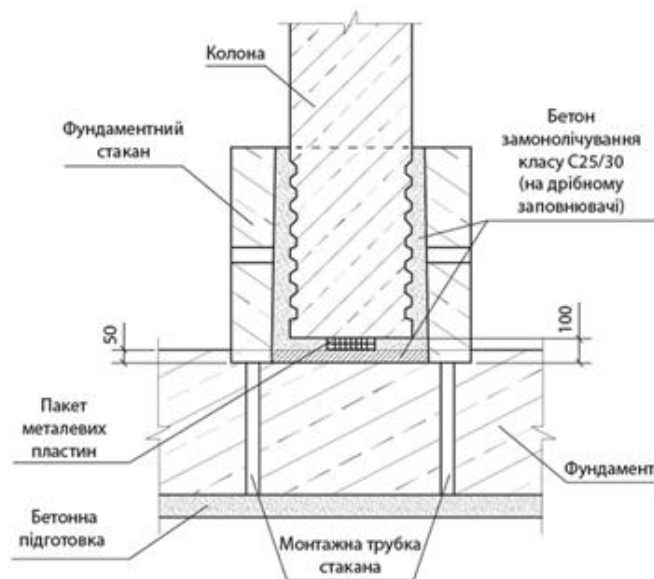


Рис.1 – Схема влаштування фундаменту за збірно-монолітною технологією зі збірною підколонною частиною.

**2. Збірно-монолітний:** збірна плита фундаменту із анкерними випусками та монолітний стакан. Для збірно-монолітного фундаменту запропоновано використовувати конструктивно-технічне рішення, винайдене проф. Тонкачєєвим Г.М [1], яке полягає у застосуванні спеціальної опалубки для стакану, що також виконує роль модуля-фіксатора для влаштування колони. Технологія влаштування відбувається наступним чином: по підготовці із ущільненого щебеню або бетону установлюють збірну плиту. Далі влаштовують арматурний каркас та установлюють опалубку. Виконують бетонування із ущільненням суміші. Після виконують монтаж колони на підкладку і центруючий елемент. Бетон стакану витримують до міцності 30% від  $R_{28}$ , після чого можна виконувати демонтаж опалубки. Конструктивно-технічне рішення із застосуванням модуля-фіксатора дозволяє об'єднати процес влаштування монолітного стакану та колони, тим самим скоротити час на влаштування першого ярусу каркасу.

Для визначення характеристик ефективності збірно-монолітної технології з двох варіантів можна застосувати наступні критерії: витрати праці, тривалість робіт, а також вартість. За попередніми розрахунками визначено, що варіант №2 із збірною плитою та монолітним стаканом потребує на 35% менше затрат праці, та виконується швидше на 54%. Також, збірна фундаментна плита може бути застосована в умовах наявних ґрунтових вод в котловані. Єдиним обмеженням для такого варіанту може бути вартість доставки плит, а також вартість фіксуючих модулів колони. Варіант №1 є дещо дешевшим, так як не потребує додаткового фіксуючого устаткування, а також стакани займають менше місця, тож доставка обійдеться дешевше. Проте, варіант №1 передбачає технологічну перерву, що може спричинити простій техніки та робочих кадрів, що спричиняє додаткові витрати. Тож, для пошуку рішень щодо влаштування збірно-монолітних фундаментів варто розглядати перспективу введення додаткового допоміжного устаткування, що мінімізуватиме перерви.

#### Список посилань

1. Тонкачєєв Г. М. Перспективи та ефективність зведення будівель за збірно-монолітною технологією / Г.М. Тонкачєєв // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2013. – вип. 30. – с. 226-233.
2. Фундаментні стакани [Електронний ресурс] // Бетон від Ковальської. – Режим доступу: <https://beton.kovalska.com/products/individual/fundamentni-stakany/> (дата звернення: 29.04.2024). – Назва з екрана.
3. Фундаментні стакани [Електронний ресурс] // Oberbeton. – Режим доступу: <https://oberbeton.ua/uk/> (дата звернення: 29.04.2024). – Назва з екрана.

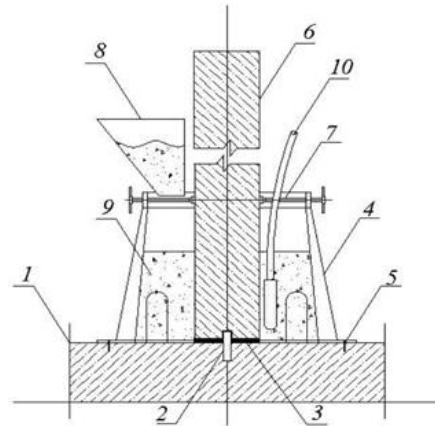


Рис. 2 – Схема використання модулів фіксаторів при влаштуванні збірно-монолітного фундаменту та при монтажі колони: 1 – збірна плита фундаменту; 2 - одноразовий модуль фіксатор; 3 - пружна прокладка з неопрена; 4 - модуль тримач з щитами фіксаторами форми бетону; 5 - анкер-фіксатор компоновки модулів оснастки; 6 - колона залізобетонна збірна; 7 - модуль маніпулятор механічного типу з ручним приводом; 8 - воронка для укладання бетонної суміші; 9 - монолітна частина збірно-монолітної конструкції; 10 - вібратор для ущільнення бетонної суміші.

УДК 624.131.542: 624.131.524

**Винников Ю.Л.,** докт. техн. наук, професор  
vynnykov@ukr.net

**Харченко М.О.,** канд. техн. наук, доцент  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
kharchenkomo@ukr.net

**Марченко В.І.,** канд. техн. наук  
ТОВ «НТП «АЛЬМАГРУП», marchenkovalentyn@gmail.com

## **ДО ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ НОВОЇ БУДІВЛІ НА ІСНУЮЧУ ЗАБУДОВУ**

Проблема зведення об'єктів будівництва за умов щільної міської забудови є однією зі складних задач як проектування, так і виконання будівельних робіт та подальшої експлуатації об'єкта, зокрема через вплив нової будови на існуючі будівлі, споруди, підземні мережі та інші об'єкти, які потрапляють у, так звану, «зону впливу» нового будівництва. Нові будівлі, як правило, мають значно більшу поверховість і заглибленість порівняно з існуючими будівлями, особливо на міських територіях з історичною забудовою. Згідно з [1] новобудова створює ризик негативного впливу на основи, фундаменти та несучі конструкції прилеглих об'єктів через створення додаткових напружень в активній зоні їх основ, порушення структури ґрунтів основ, зміну усталених гідрогеологічних умов на прилеглий території та під існуючими будівлями.

Актуальні державні будівельні норми з проектування основ і фундаментів визначають критерії, яких слід дотримуватись при оцінюванні впливу нового будівництва на оточуючу забудову залежно від технічного стану та конструктивних особливостей існуючих об'єктів [2], як-то: максимальні додаткові осідання та відносна різниця осідань. Таким чином, основною проблемою з точки зору впливу на оточуючу забудову, яку слід вирішити на етапі проектування об'єктів за умов щільної забудови, – це адекватна оцінка можливих додаткових осідань основ існуючих об'єктів та їх нерівномірність (відносна різниця осідань основ).

Кожен окремих випадок оцінювання впливу нового будівництва на оточуючі об'єкти потребує індивідуального підходу з урахуванням технічного стану, конструктивних особливостей фундаментів і надфундаментних конструкцій існуючих об'єктів, конструктивних особливостей, технологій, стадійності зведення нових будівель. Одним із типових випадків є випадок зведення нової багатоповерхової будівлі на пальових фундаментах поряд з існуючими будівлями, технічний стан та конструктивні схеми яких не допускають значного впливу на них. Особливістю такої ситуації є коректне визначення осідань пальових фундаментів та відповідно вплив цього осідання на деформування основ фундаментів існуючих будівель, враховуючи те, що пальові фундаменти є фундаментами глибокого закладання, а фундаменти існуючих будівель, як правило, неглибокого, тобто стислива товща фундаментів має різну глибину.

Такі складні схеми, коли слід враховувати цілий ряд факторів важко розраховувати, використовуючи лише аналітичні методики, зокрема метод кутових точок. Для цих випадків у практиці розрахунків користуються апробованими програмними комплексами, які зокрема, реалізують метод скінченних елементів (МСЕ), в т. ч. у нелінійній постановці та допомагають у вирішенні різноманітних геотехнічних проблем (Plaxis, Midas GT NX, ЛІРА-САПР та ін.).

Як показує практика й досвід авторів при розрахунках пальових фундаментів за деформаціями МСЕ дає дещо завищені значення осідань груп (кущів) паль при використанні стандартних параметрів деформативності ґрунтів (модуль деформації, визначений шляхом компресійних випробувань, і довідкове значення коефіцієнтів Пуассона через відсутність приладів для визначення реальних величин шляхом трьохосьових лабораторних випробувань зразків ґрунтів чи польовими методами) та некоректне врахування взаємодії матеріалу палі з ґрунтом.

Тому осідання паливових фундаментів більш коректно визначати методами за регламентованими національними стандартами моделями ґрунтів. Такими методами є метод умовного фундаменту, який рекомендовано для забивних палів глибиною до 10-12 м, метод визначення осідань групи палів за розв'язанням задачі про переміщення стрижня в пружному напівпросторі з урахуванням взаємного впливу палів (умовно назвемо нормативним). Для верифікації пропонується також використати, так званий, метод «пружин» (spring method), який реалізує МСЕ для групи палів (реалізовано у програмному комплексі Geo5). Після визначення осідань паливових фундаментів (груп) палів пропонується отримане значення прикласти до розрахункової моделі для визначення впливу на існуючі будівлі і таким чином визначити значення додаткових деформацій основ існуючих об'єктів.

Дану методику, зокрема, використано при оцінюванні можливих додаткових осідань існуючих будівель при проектуванні нової будівлі у центральній частині м. Полтава у 2022 р. Ситуаційну схему розміщення будівель подано на рис. 1.

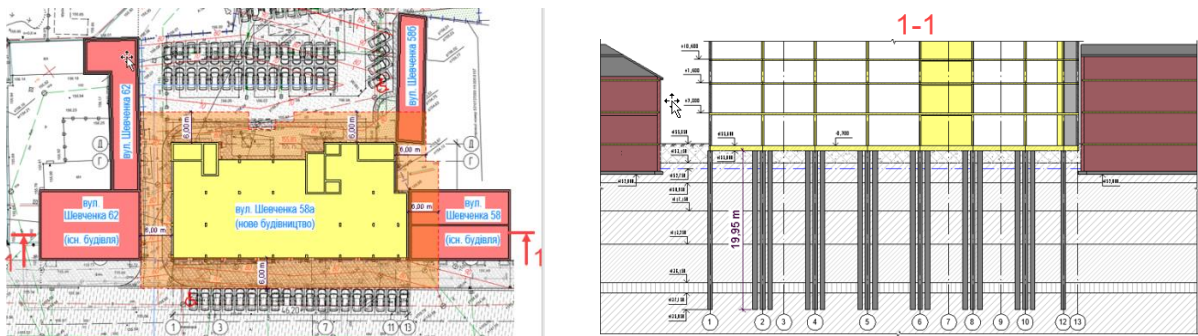


Рис. 1 – Ситуаційна схема розміщення будівель з посадкою на інженерно-геологічний розріз

На першому етапі визначено осідання групи палів нормативним методом і методом «пружин», а також для орієнтовного визначення величини стисливої товщі ( $H_c$ ) під паливовими фундаментами методом умовного фундаменту (табл. 1).

Таблиця 1 – Осідання групи палів за різними методиками

Метод розрахунку	Осідання, мм
Нормативний	20,73
Метод пружин (МСЕ для групи палів)	20,20
Метод умовного фундаменту ( $H_c = 5$ м)	20,25

На рис. 2 наведено результати розрахунків осідань основ існуючих будівель від впливу деформацій паливових фундаментів новобудови, отриманих нормативним методом (табл. 1). З їх аналізу видно, що додаткові осідання навколишніх будівель складуть до 1 см.

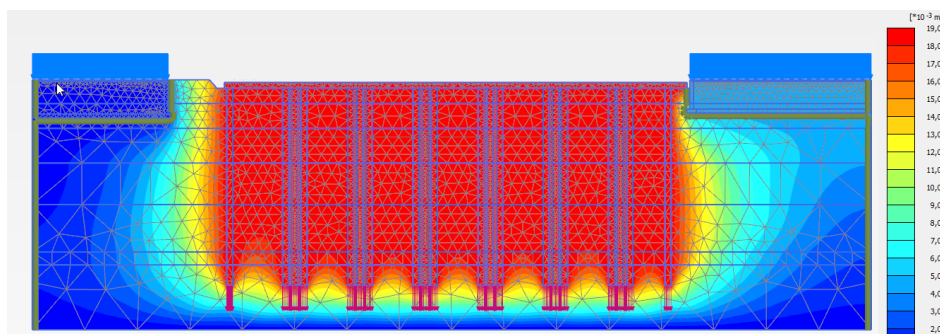


Рис. 2 – Ізополя деформацій, отримані МСЕ

Отже, запропоновану методику доцільно враховувати при попередньому проектуванні та прийнятті рішень щодо фундаментів нових будівель поруч з існуючою забудовою, однак

отримані за нею дані слід верифікувати на наступних етапах життєвого циклу об'єкта шляхом польових випробувань ґрунтів палями, науково-технічного моніторингу тощо.

#### Список посилань

1. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 36 с.
2. ДБН В.1.2-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Вид. офіц. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 42 с.

УДК 624.954:624.15

**Винников Ю.Л., докт. техн. наук, професор**  
**Харченко М.О., канд. техн. наук, доцент**  
**Кічасов О.С., аспірант**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
oleksiikichasov@gmail.com

**Марченко В. І., канд. техн. наук, провідний інженер**  
ТОВ «НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ПІДПРИЄМСТВО «АЛЬМАГРУП»

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФУНДАМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ СИЛОСІВ НА МАЙДАНЧИКАХ РІЗНОЇ ГЕОТЕХНІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ**

За останні 20 років у нашій країні накопичено значний досвід проектування та експлуатації металевих силосів. При цьому як надземні, так і підземні конструкції даного типу споруд отримали чималу кількість форм і варіантів вирішень.

Початок активного будівництва металевих силосів (2000-ні роки) характеризувався браком відповідного досвіду при проектування та експлуатації подібних споруд. Тому прийняті на той час конструкції фундаментів часто не враховували цілий ряд факторів, зокрема складність конструктивної схеми, взаємний вплив суміжних споруд, особливості інженерно-геологічної будови основи й зміну її властивостей в процесі експлуатації. Такі помилки на етапі проектування в подальшому ставали причинами аварій.

Місця для будівництва силосів, зазвичай, є заздалегідь визначеними, оскільки їх вибір тісно пов'язаний з наявною розвиненою транспортною інфраструктурою (автошляхи, залізниця, річкові та морські порти) чи територіями вже діючих промислових підприємств. Такі ділянки мають значний рівень техногенного впливу. Одночасно, враховуючи поширеність складних інженерно-геологічних умов [1], можливе узагальнення про те, що зведення металевих силосів для зерна можливе на ділянках різної геотехнічної складності.

Тому ретельне оцінювання інженерно-геологічних і гідрологічних умов ділянки, як одного з головних елементів системи «основа – фундамент – металевий силос», є необхідним задля забезпечення можливості коректного вибору конструкцій фундаментів відповідно до наявних умов будівництва. Інженерно-геологічні вишукування слід проводити в достатньому обсязі, чим подеколи нехтують, зокрема, розглядати умови майданчика в комплексі: історію експлуатації даної ділянки разом із забудовою та впливати суміжних територій. Це дає змогу вказати на можливі зміни умов експлуатації в майбутньому (підтоплення ділянок, впливи забудови сусідніх ділянок, деградація та просідання лесових ґрунтів, техногенні впливи тощо) [2].

Загалом геотехнічні умови майданчиків можна розділити на такі, що: 1) не мають особливих умов (нашарування ґрунтів є рівномірними за глибиною та по товщині, властивості ґрунту суттєво не змінюються залежно від коливання рівня підземних вод); 2) ділянки, що мають складні умови (складені лесовими просадочними ґрунтами, слабкими відкладами різного походження, підтоплені території та території з високим рівнем ґрунтових вод (поблизу водойм, річкових портів); 3) ділянки, що мають значний рівень

техногенного впливу (стара забудова, насипи, підземні комунікації та наслідки їх аварій, тощо).

Ділянки без особливих властивостей добре підходять для влаштування фундаментів неглибокого закладення (плитні, кільцеві) на природній основі. Кільцеві фундаменти сприймають навантаження від стінок силосів, при цьому плита днище може бути приєднаною чи не приєднаною до кільця. Основна перевага даного типу фундаментів є їх технічна простота й економічність, що сприяло їх широкому розповсюдженню на ранніх етапах спорудження металевих силосів. Плитні фундаменти дають змогу більш рівномірно розподілити навантаження по всій площі. Вони бувають жорсткі чи кінцевої жорсткості. Їх характерними рисами є утворення зон концентрації напружень за периметром плити та пряма залежність глибини стисливої товщі від діаметра силосу, нерівномірні осідання через довантаження сусідніми спорудами [3].

На ділянках з особливими властивостями конструктивними варіантами вирішення фундаментів є (рис. 1):

- проектування основ, зокрема, усунення просадочних властивостей, армування основ ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ), тощо;
- використання коробчастих фундаментів (рис. 1,а), що мають значну просторову жорсткість і можуть витримувати місцеві нерівномірні послаблення основи;
- влаштування пальових фундаментів з плитним або кільцевим ростверком (рис. 1,б);
- розділення фундаментів суміжних силосів деформаційними швами.

Для випадку, коли влаштування підземного поверху ускладнене через високий рівень ґрунтових вод, можна зменшити глибину заглиблення шляхом влаштування додаткового насипу чи повної відмови від підземного поверху, натомість виконати надземний. При цьому використовуються комбіновані фундаменти (рис. 1,в).

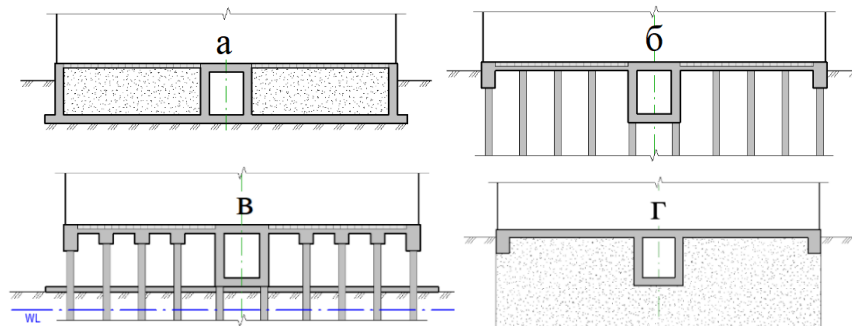


Рис. 1 – Типи фундаментів металевих силосів для зерна на ділянках з особливими властивостями: а – плитний фундамент коробчастого типу; б – пальовий з плитним ростверком; в – пальовий з плитним ростверком та надземною галереєю; г – плитний фундамент з підземною галереєю на підсиленій основі

Прийняття кінцевих рішень щодо вирішення конструкцій фундаментів повинно проводитись з урахуванням й інших аспектів (прийнята технологія зберігання зерна, врахування взаємного впливу суміжних споруд, особливості розподілу навантажень сипучих речовин, тощо). При цьому врахування геотехнічних умов майданчику та можливості їх зміни в процесі експлуатації є головним фактором вибору конструктивних форм при проектуванні фундаментів споруд металевих силосів й визначенні їх напружено-деформованого стану як єдиної системи «основа – фундамент – металевий силос», оскільки такий підхід у підсумку забезпечує більш надійні й одночасно економічні рішення при зведенні споруд даного типу.

#### Список посилань

1. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 52 с.

2.ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. – К.: Міністерство раціонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 39 с.

3.Аналіз експлуатаційної придатності фундаментів споруд для зберігання зерна / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.І. Марченко, О.С. Кічасов // Основи та фундаменти. – 2023. – № 46. – С. 63–70. – DOI: 10.32347/0475-1132.46.2023.63-72.

УДК 528.48 (477.7)

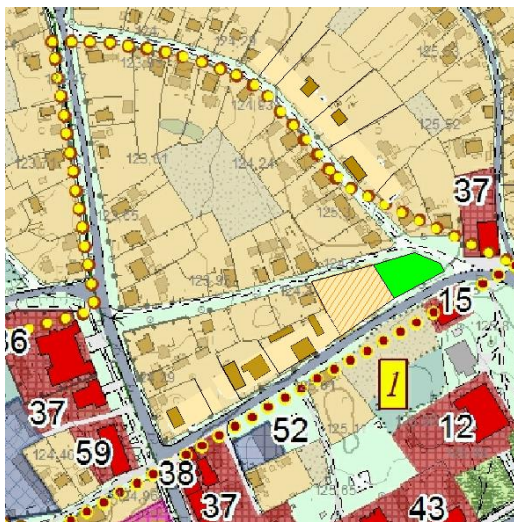
**Терещук О.І., канд. техн. наук, професор**  
**Заворотний С.М., канд. техн. наук**

Національний університет «Чернігівська політехніка», zavorotnyiserhii@ukr.net


## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ В АРХЕОЛОГІЧНИХ ЗОНАХ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

На території України є багато об'єктів археологічної спадщини, як Державного так і місцевого значення. Відповідно до Статті 7 Закону України «Про охорону археологічної спадщини», до повноважень органу виконавчої влади обласної, районної, міської державної адміністрації ради належать ряд пунктів [1]. Зокрема визначення меж територій археологічних пам'яток місцевого значення та забезпечення в межах відповідної адміністративно-територіальної одиниці належного захисту та утримання об'єктів археологічної спадщини [1].

Відповідно до вимог закону та містобудівних умов в м. Носівка, Чернігівської області, було виконано аналіз можливості виконання земляних робіт на території щойно виявлених археологічних об'єктів культурної спадщини без пошкодження верхніх ґрунтових шарів земельної ділянки (надалі - ЗД), що знаходилась на території приватної забудови. Фрагмент генплану з місцем розташування досліджуваної ЗД наведено на рисунку 1.



Умовні позначення:

 - щойно виявлені археологічні об'єкти культурної спадщини;

 - пам'ятка археології місцевого значення;

 - досліджувана ЗД.

Рис. 1 – Фрагмент генплану з розташованою досліджуваною ЗД

Для проведення аналізу було встановлено місця розташування та виконано польові дослідження ЗД комплектом сучасних геодезичних приладів. В комплект обладнання входили: GNSS RTK приймача South S660P; польовий контролер Sigma mobile X-treme PQ39 [2]; вішка геодезична CLS25; підписування тривалістю 12 місяців на мережевий RTK сервіс на всій території України.

Матеріали польових досліджень дозволили виконати побудову цифрової моделі рельєфу за допомогою BIM -Autodesk AutoCAD Civil 3D (навчальна версія), та поперечні та повздовжні профілі. Цифрова модель рельєфу та поперечний профіль ЗД наведено на рис.2.



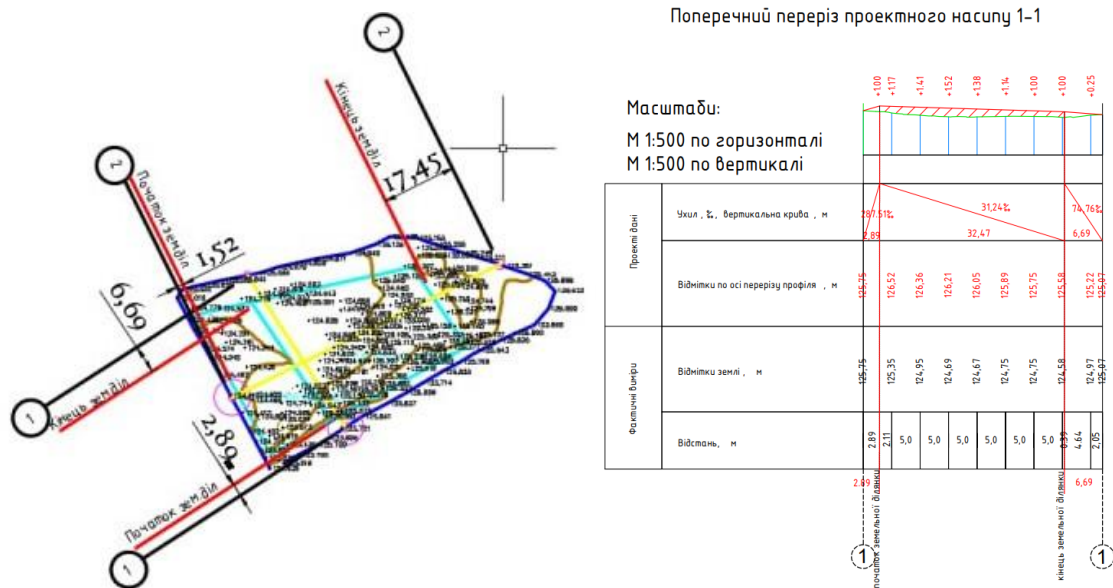


Рис. 2 – Цифрова модель рельєфу та поперечний профіль ЗД

В результаті виконаного аналізу, отриманих матеріалів було визначено ЗД знаходиться на території щойно виявлених археологічних об'єктів культурної спадщини, що вказує на неможливість виконання земляних робіт на території досліджуваної ЗД без додаткових заходів. В якості рекомендацій було розроблено проектний поперечний повздовжній та поперечний переріз з рекомендованими насипами що забезпечують унеможливлення пошкодження існуючого щойно виявленого археологічного об'єкту культурної спадщини.

#### Список посилань

1. Про охорону археологічної спадщини: Закон України від 18.03.2004 р. № № 1626-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5461-17#Text>. (дата звернення: 16.03.2024).
2. X-treme PQ39 Посібник користувача. URL: [https://sigmamobile.net/wp-content/uploads/2019/07/manual\\_PQ39\\_ukr\\_Andr7\\_ver2.pdf](https://sigmamobile.net/wp-content/uploads/2019/07/manual_PQ39_ukr_Andr7_ver2.pdf). (дата звернення: 15.03.2024).

УДК 332.3“364”

**Заворотний С.М., канд. техн. наук**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [seregazavorotnyi@gmail.com](mailto:seregazavorotnyi@gmail.com)

### ОСОБЛИВОСТІ ЗЕМЛЕУСТРОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Внаслідок повномасштабної війни на території України з 24.02.2022 р. введено воєнний стан [1]. Військові дії вплинули на всі сфери господарської діяльності країни, знищується цивільна інфраструктура, земельні ресурси та стале землекористування. Значних збитків отримала й землевпорядна сфера.

До початку повномасштабної війни за даними статистики Держгеокадастру [3] активність землевпорядної діяльності була на значному рівні. За січень місяць 2022 р. кількість заяв на реєстрацію земельної ділянки склали - 150 255, а заяви на внесення до ДЗК відомостей/змін до відомостей - 14 017. Березень та квітень 2022 р.

З травня 2022 р. спостерігається значний спад за відповідними показниками: заяви на реєстрацію земельної ділянки - 31 180; заяви на внесення до ДЗК відомостей/змін до відомостей - 3 668.

Статистичні показники за 2022 р. наведено на рисунку 1.

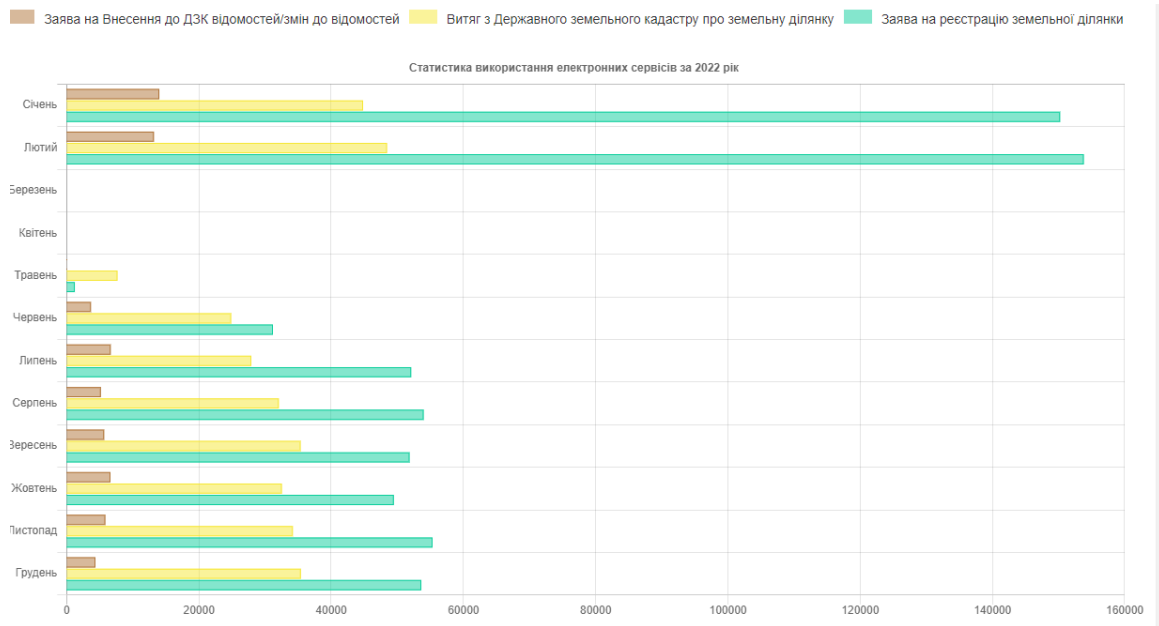


Рис. 1 – Статистичні показники за 2022 р. [3]

З метою забезпечення функціонування держави в умовах воєнного стану та зменшення впливу деструктивних явищ було прийнято ряд змін в існуючому законодавстві. Відповідні законодавчі зміни відбулися й в земельпорядній сфері [2].

Згідно змін пп.5, п.27 розділу X Земельного кодексу України накладається заборона на безоплатну передачу земель державної, комунальної власності у приватну власність, також забороняється надання дозволів на розроблення відповідної технічної документації із землеустрою. Дані обмеження не стосуються земельних ділянок на яких знаходяться об'єкти нерухомості, а також земельних ділянок, які були надані до набрання чинності даного підпункту.

Таким чином на даний час за березень місяць 2024 р. кількість заяв на реєстрацію земельної ділянки склали - 72 813, а заяви на внесення до ДЗК відомостей/змін до відомостей - 10 369 [3]. Статистичні показники за 2024 р. наведені на рисунку 2.

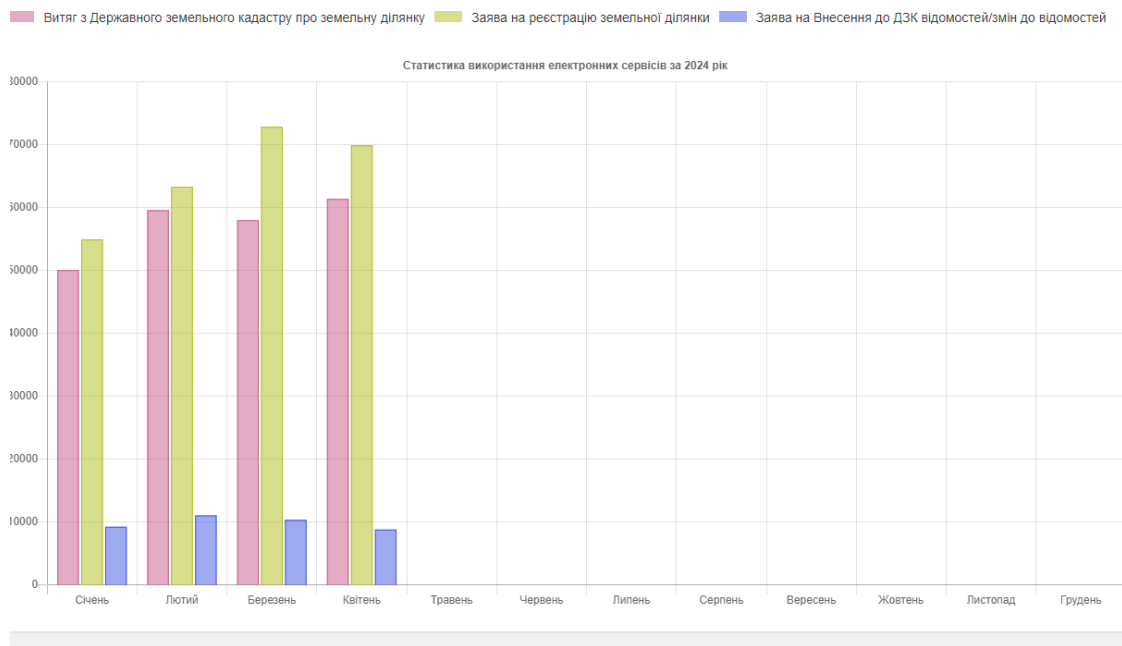


Рис. 2 – Статистичні показники за 2024 р. [3]

Порівнюючи дані за 2022 – 2024 рр. можна зробити висновок, що зміни які були внесені в законодавство покращили умови які склалися на початку війни. Відповідно кількість заяв на реєстрацію земельної ділянки збільшилися майже в 2,5 рази, а заяви на внесення до ДЗК відомостей/змін до відомостей май же в 3. Зрозуміло, що заборони на безоплатну передачу земель державної, комунальної власності у приватну власність зменшують показники активності землевпорядної діяльності, але вони пов'язані з необхідністю регулювання кризових явищ війни.

#### Список посилань

1. Закон України від 24 лютого 2022 р. № 210201X» Про затвердження Указу Президента України «Про введення воєнного стану в Україні»
2. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану» №2247-IX від 12.05.2022 р.
3. Держ геокадастр. Статистика використання електронних сервісів. URL: <https://e.land.gov.ua/statistics/>.

УДК 004.94.(687)

Барбаш М.І., ст. викладач

Національний університет «Чернігівська політехніка» [m\\_barbash@ukr.net](mailto:m_barbash@ukr.net)

### КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВІД ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ДО ПРОДАЖУ ОДЯГУ

Концепція індивідуального підходу до створення одягу передбачає виготовлення одягу, що відповідає унікальним потребам, вимогам та характеристикам кожного клієнта; підкреслює важливість персоналізації у сфері моди, дозволяючи кожному відчувати себе особливим та унікальним. Дана концепція стає все більш популярною, а технологія сканування тіла за допомогою 3D сканера, що дозволяє отримати індивідуальний манекен тобто точну копію форми тіла конкретної людини і є одним з інноваційних методів реалізації цієї ідеї та найбільш перспективним напрямком в модній індустрії.

На даний час точні тривимірні моделі людського тіла, побудовані на основі даних 3D сканування застосовуються у текстильній промисловості; 3D моделюванні одягу; цифрових примірочних при онлайн покупках відомих брендів (AR-технології доповненої реальності). Це революційне рішення має ряд переваг: за рахунок точності автоматичного зняття мірок зменшується вірогідність похибки під час пошиття одягу реального чи сегментарного у світі 3D, а зменшення кількості примірок дозволяє знизити вартість, час виготовлення та досягти ідеальної посадки. Використання отриманих даних сканування для автоматичного створення патернів спрощує процес виробництва та зменшує ймовірність помилок. AR примірка одягу без виходу з будинку при здійсненні покупок в інтернет-магазинах для пересічної людини – це зручно й цікаво. Але це лише поверхнева вигода. При купівлі одягу повернення складає близько 40%, це погано для екосистеми, довкілля, брендів і покупців; також індустрія одягу входить до трьох найбільших забруднювачів довкілля [1].

Методи сканування тіла включають у себе два типи 3D сканування: перший використовує спеціальне обладнання для створення тривимірної моделі тіла, другий - сканування на основі фотографій, коли програмне забезпечення аналізує фотографії для створення 3D моделі.

Обидва методи несуть не тільки переваги: зменшення часу на пристосування розмірів одягу, покращення точності та якості виготовлення, а й виклики, пов'язані з вартістю обладнання, програмного забезпечення, конфіденційністю даних клієнтів, потребою у спеціалізованій підготовці персоналу.

Послугами амбіційного українського стартапу 3DLOOK, що працює над технологією сканування тіла по фото з використанням штучного інтелекту, 3D-технологій та

нейромереж (AR та computer vision), на даний час користуються близько 100 брендів, більшість з них з Fashion-E-commerce ніші – американські бренди високої моди та гіганти ринку уніформ, серед яких Tailored Brands, Dickies, e1972, Unisync, Safariland, Fehheimer Bros. Уорена Баффета, італійський luxury-бренд Lanieri та масмаркет Bershka. За словами засновника 3DLOOK Вадима Роговського його компанія планує зібрати найбільшу базу цифрових тіл у світі, на основі якої будувати різні аналітики для різних індустрій [1].

Головними тенденціями у розвитку технологій сканування тіла є вдосконалення точності, зниження вартості та розвиток більш швидких та ефективних методів сканування, та використання штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації процесу аналізу даних та покращення точності сканування.

Відсоткове збільшення ринку онлайн-продаж (дослідження ринку показує, що близько 60 відсотків покупців налаштовані на купівлю товарів онлайн якщо можливо побачити тривимірне зображення товару) призвело до стрімкого розвитку веб-додатків 3D конфігураторів одягу та аксесуарів. Сучасні методи візуалізації 3D конфігураторів дозволяють масштабувати та максимально наблизити до потенційного покупця обраний товар для деталізації його текстури, розглянути виріб з усіх сторін, змінити колір чи розмір обравши з доступних, а додавши власне фото – навіть приміряти одяг, взуття чи аксесуари на себе. Створення та анімація тривимірних моделей елементів одягу та готових виробів у пакеті Blender дозволяє користувачу самостійно налаштовувати освітлення та оточення, що дає можливість побачити, як буде виглядати костюм чи сукня при денному освітленні на вулицях міста або вечірньому освітленні в інтер'єрі бару.

Веб-додаток 3D конфігуратор одягу робить можливою послугу он-лайн кастомізації одягу чи аксесуарів в частині самостійного підбору користувачем тканини, фурнітури, дизайну окремих елементів, що буде корисним для ательє та вендорів у просуванні та продажу товарів.

Не можливо лишити поза увагою Assyst.CAD - програмне рішення для автоматизованого проектування у індустрії моди та одягу [2], що дозволяє дизайнерам:

- створювати цифрові шаблони для одягу;
- виготовляти маркери, які є макетами деталей візерунка на тканині, оптимізуючи використання тканини та мінімізуючи відходи;
- візуалізувати одяг в цифровому середовищі для оптимізації процесу проектування та зменшення потреби у фізичних прототипах;
- інтегруватися з системами керування життєвим циклом продукту (PLM), забезпечуючи безперебійне спілкування та співпрацю між командами проектування, розробки та виробництва;
- оцифровувати фізичні шаблони або зразки для подальших маніпуляцій і використання;

Assyst.CAD може підтримувати різні формати файлів для імпорту та експорту шаблонів, включаючи DXF, PDF та інші, що забезпечує сумісність з іншим програмним забезпеченням і системами, що використовуються в індустрії моди.

Уся індустрія on-demand manufacturing зараз отримує великі інвестиції. Збираються усі елементи пазла, а саме роботизоване виготовлення одягу, софт, який дозволяє ті дані, які отримані з фото людини, трансформувати у лекала, а потім обрізати тканину за лекалами чи накласти текстуру на патерн та усе це зшити в реальному чи 3D світі [1].

#### Список посилань

1. Вадим Роговський, засновник та CEO 3DLook, про важливість експериментів, застарілі антропометричні дані та заміну SMM на ChatGPT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://speka.media/vadim-rogovskii-zasnovnik-ta-ceo-3dlook-pro-vazlivist-eksperimentiv-zastarili-antropometricni-dani-ta-odiyag-na-zamovlennya-vr76np>

2. Fashion design software. Create.Make.Sell [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.assyst.de/>

УДК 621.941-229.3:531.133

Білик С.І., докт. техн. наук, професор

Білик А.С., канд. техн. наук, доцент

Цюпин Є.І., асистент

Київський національний університет будівництва і архітектури, [vartist@ukr.net](mailto:vartist@ukr.net)

## ВПЛИВ ПОЧАТКОВИХ НЕДОСКОНАЛОСТЕЙ НА СТІЙКІСТЬ ПРУЖНИХ СТРИЖНІВ СТАЛЕВИХ ФЕРМ З ЖОРСТКИМИ ВУЗЛАМИ

Стійкість центрально-стиснутих стрижнів з початковими відхиленнями є актуальною проблемою проектування сучасних металевих конструкцій. Особливо важливо подальше вивчення таких систем з необхідністю вивчення резервів живучості конструкцій [1, 3]. Проведені числові дослідження стійкості пружних центрально сталевих елементів в деформованому стані при початкових недосконалостях конструктивної форми для елементів ферм з жорсткими вузлами [2]. Розглянуті розрахункові моделі впливу пружного защемлення елементів і початкових недосконалостей. Виявлені відповідні закономірності повздовжнього деформування.

Досліджувався критерій (1) стійкості центрально-стиснутого стрижня з однією пружною опорою. Стрижень має наступні геометричні характеристики  $I_x$  – постійний момент інерції перерізу, і площу перерізу –  $A$ . Прийнята Декартова система координат, яка розташована із центром в центрі ваги симетричного перерізу. Стояк стиснутий силою  $N$ , яка діє поздовж осі  $OZ$ . За методом початкових параметрів початкове значення згинального моменту прийнято позначати –  $M_{x0}$ , значення згинального моменту в довільному перерізі з координатою  $z$  позначено – через  $M_{xz}$ , при  $z = l \rightarrow M_{xn}$  [2].

$$B_C = (1 - \cos k) \left[ k (1 - \cos k) + k^2 \frac{EI_{x0}}{2k_{r1}b_r^2} \sin k \right] - (k - \sin k) \left[ k (\sin k) + k^2 \frac{EI_{x0}}{2l k_{r1}b_r^2} (\cos k) \right] = 0. \quad (1)$$

Критерій (1) описує втрату стійкості пружного сталевих стрижня: одна опора жорстко затискає елемент, а інша має пружне защемлення ( $\eta_0 = 0; \eta'_{t0} = 0; t_z = 1 \rightarrow M_{xn} = -2k_{r1}b_r^2 \eta'_{tn}$ ). Отримані числові дані коефіцієнтів розрахункової довжини при різних параметрах защемлення.

Отримані аналітичні залежності для визначення максимальних значень згинальних моментів з урахуванням зростання повздовжньої сили і фіксованих початкових ексцентриситетів на опорах та початкового кута повороту на одній з опор. Деформований стан конструкції при початкових недосконалостях описується системою трьох алгебраїчних рівнянь (2) [2]. Розглянуто схему розвитку переміщень стрижня, який защемлений з двох боків. Стрижень має відомі початкові переміщення ( $t_{z0} = 0; \rightarrow \eta_{t0} \neq 0; \eta'_{t0} \neq 0$ ). Друга опора має пружне защемлення, відносно значення жорсткості пружної опори відомо,  $EI_{x0} / (2k_{r1}b_r^2 l) = const$ .

$$\begin{cases} \frac{M_{x0}l}{EI_{x0}} \frac{(\cos k - 1)}{k} + \frac{Q_0 l^2}{EI_{x0}} \frac{(\sin k - k)}{k^2} = - \left( k \frac{\eta_0}{l} + \eta'_{t0} \sin k \right) \\ \frac{M_{x0}l}{EI_{x0}} \frac{(\sin k)}{k} - \frac{Q_0 l^2}{EI_{x0}} \frac{(1 - \cos k)}{k^2} - \frac{M_{xn}l}{EI_{x0}} \left( - \frac{EI_{x0}}{2k_{r1}b_r^2 l} \right) = -\eta'_{t0} \cos k \\ \frac{M_{x0}l}{EI_{x0}} \frac{(\cos k)}{k} + \frac{Q_0 l^2}{EI_{x0}} \frac{\sin k}{k^2} - \frac{M_{xn}l}{EI_{x0}} \frac{1}{k} = -\eta'_{t0} \sin k \end{cases} \quad (2)$$

Проведені числові дослідження деформованого стану стиснутого стрижня за представленою моделлю з урахуванням початкових недосконалостей за системою рівнянь (2).

Виявлені закономірності живучості центрально-стиснутих жорстко защемлених стрижнів: суттєва зміна розподілу згинальних моментів при зростанні впливу повздожнього згину. Результати напружено-деформованого стану показали, що при зниженні параметра повздожньої сили  $k$ , вплив початкових відхилень на стійкість зменшується швидше ніж зменшення параметра  $k$ .

Таким чином, при виявленні початкових відхилень при виготовленні або монтажу конструкцій при відповідному розвантаженні конструкцій, є можливість уникнути заміну або підсилення конструкцій елементів сталевих ферм з жорсткими вузлами. З іншого боку при новому проектуванні конструкцій сталевих ферм з жорсткими вузлами для гнучких стрижнів слід виконувати розрахунок з урахуванням початкового ексцентриситету. Розроблений методологічний підхід дозволяє визначити граничні значення гнучкості стрижнів в залежності від початкових недосконалостей і напружено-деформованого стану.

#### Список посилань

1. Mykhailo Daurov, Artem Bilyk. Investigation of changes in steel frames stress state in fire and influence on its vitality// Strength of materials and theory of structures. 2022. Issue. 108. pp.325-336. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.325-336>

2. Bilyk S.I., Bilyk A., Tsyupyn E.I. Стійкість пружних стрижнів з початковими недосконалостями сталевих ферм з жорсткими вузлами// Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2022. – Issue 109. – P. 213-228. DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.213-228

3. Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nilova T.O., Shpynda V.Z., Tsyupyn E.I. Buckling of the steel frames with the I-shaped cross-section columns of variable web height [Стійкість сталевих рам із двотаврів із змінною висотою стінки]// Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 100. – P. 140-154. [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-100/11-100\\_bylik.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-100/11-100_bylik.pdf).

УДК 338.24:502

Титок В.В., канд. екон. наук, доцент

Смельянова О.М., канд. держ. упр., доцент

Київський національний університет будівництва і архітектури, [tytok.vv@knuba.edu.ua](mailto:tytok.vv@knuba.edu.ua)

### ВИКОРИСТАННЯ АСПЕКТІВ СУСТЕЙНІЗМУ В БУДІВЕЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Сьогодні питання стійкого розвитку та екологічної відповідальності стають все більш актуальними, в тому числі й у сфері будівництва. Застосування принципів сустейнізму дозволяє мінімізувати негативний вплив будівельної діяльності на навколишнє середовище, а також економити ресурси та кошти.

Сустейнізм, або сталий розвиток, – це концепція, яка ставить собі за мету задовольнити потреби сучасного суспільства, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби [1].

Сустейнізм – це динамічне поняття, воно постійно еволюціонує. З часом з'являються нові виклики, які потребують нових підходів та рішень. Воно базується на трьох взаємопов'язаних аспектах:

1. *Екологічна стійкість*. Цей принцип фокусується на мінімізації негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище [2, 3].

У будівельному виробництві це означає зменшення енергоспоживання будівель за рахунок теплоізоляції; використання енергоефективних вікон та дверей, систем освітлення та опалення; зменшення споживання води за рахунок використання зливних бачків з низьким зливом, систем рециркуляції води; озеленення дахів та створення вертикальних садів; використання сонячних панелей, вітрогенераторів, геотермальних теплових насосів; переробка та повторне використання будівельних матеріалів; використання нетоксичних та безпечних для здоров'я матеріалів; забезпечення якісної вентиляції та природного освітлення; зменшення шуму та вібрації; збереження зелених зон та насаджень.

2. *Соціальна стійкість*. Цей принцип стосується забезпечення добробуту та якості життя людей [4].

У будівельному виробництві це передбачає створення інклюзивних до людей просторів; забезпечення доступу до зелених зон та місць для відпочинку; забезпечення доступного житла для людей з різним рівнем доходу, з урахуванням потреб людей з обмеженими можливостями; створення безпечного та здорового життєвого середовища; залучення місцевих жителів до процесу прийняття рішень; створення робочих місць та підтримка місцевого бізнесу; інвестування в соціальну інфраструктуру; збереження історичних будівель та пам'яток; включення елементів культурної спадщини в нове будівництво; проведення інформаційних кампаній про стійке будівництво; навчання людей принципам стійкого будівництва.

3. *Економічна стійкість*. Цей принцип фокусується на довгостроковому економічному розвитку, який не шкодить навколишньому середовищу та соціальній справедливості [2].

У будівельному виробництві це означає ефективне використання екологічних та перероблених ресурсів; застосування енергоефективних технологій та методів будівництва; підготовка кваліфікованих кадрів; зниження витрат на будівництво та експлуатацію будівель; створення довговічних та енергоефективних споруд; підтримку місцевої економіки через створення нових робочих місць та стимулювання економічного розвитку;

Ці три аспекти взаємопов'язані. Наприклад, будівництво енергоефективних будинків (екологічна стійкість) може знизити витрати на комунальні послуги (економічна стійкість) та покращити здоров'я мешканців (соціальна стійкість).

Приклади будівництва об'єктів промислового і цивільного призначення на основі аспектів сустейнізму:

1) The Edge в Амстердамі, Нідерланди – це офісний будинок, який використовує на 70% менше енергії, ніж звичайні офісні будівлі.

2) ReGen Villages в Данії – це еко-селище, яке побудовано з перероблених матеріалів [5].

3) City Hall в Копенгагені, Данія – це будівля з зеленим дахом, який поглинає дощову воду, покращує якість повітря і знижує температуру в приміщенні.

4) ТРЦ Gulliver в Києві, Україна – це торговий центр з зеленим дахом, який є одним з найбільших в Європі.

5) The Farmhouse в Каліфорнії, США – це еко-будинок, який використовує систему «розумний будинок» для економії енергії та води.

6) Hammarby Sjöstad в Стокгольмі, Швеція – це еко-район, де 40% житла є доступним.

7) LifeHouseBuilding в Києві, Україна, спеціалізується на будинках із солом'яних панелей на основі дерев'яного каркасу [6].

8) Neoasge в Києві, Україна, будує будинки з теплоізоляцією та герметичною оболонкою, що виробляють енергію за допомогою сонячних панелей.

9) Стартап PassivDom в Києві, Україна – створює модульне, повністю автономне від електроенергії та газопостачання житло [7].

10) Компанія Hempire в Україні, яка виготовляє екологічний будівельний матеріал на основі промислових (технічних) конопель.

Сустейнізм стає все більш важливою концепцією в будівництві, адже вона дозволяє нам збудувати краще майбутнє для себе і для наступних поколінь.

#### Список посилань

1. Sustainalism: An Integrated Socio-Economic-Environmental Model to Address Sustainable Development and Sustainability. URL: [https://www.researchgate.net/publication/372203198\\_Sustainalism\\_An\\_Integrated\\_Socio-Economic-Environmental\\_Model\\_to\\_Address\\_Sustainable\\_Development\\_and\\_Sustainability](https://www.researchgate.net/publication/372203198_Sustainalism_An_Integrated_Socio-Economic-Environmental_Model_to_Address_Sustainable_Development_and_Sustainability) (дата звернення 15 березня 2024).
2. Yun Zhong, Peng Wu. Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete- and steel-projects. Journal of Cleaner Production, Volume 108, Part A, 2015, Pages 748-756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.095>.
3. Kiani Mavi, R.; Gengatharen, D.; Kiani Mavi, N.; Hughes, R.; Campbell, A.; Yates, R. Sustainability in Construction Projects: A Systematic Literature Review. Sustainability, 2021, 13, 1932. <https://doi.org/10.3390/su13041932>
4. Hongdi Wang, Xiaoling Zhang, Weisheng Lu Improving Social Sustainability in Construction: Conceptual Framework Based on Social Network Analysis. Journal of Management in Engineering. 2018. Volume 34, Issue 6. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000607](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000607)
5. ReGen Villages . URL: <https://www.effekt.dk/regenvillages> (дата звернення 15 березня 2024).
6. Life House Building (LHB) URL: <http://lhb.stroimdom.com.ua/> (дата звернення 15 березня 2024).
7. Український технологічний стартап PassivDom. URL: <http://www.biowatt.com.ua/trends/ukrayinskij-tehnologichnij-startap-passivdom/> (дата звернення 15 березня 2024)

УДК 621.941-229.3:531.133

**Скрипник В.Л., аспірант**

Київський національний університет будівництва та архітектури,  
[skrypnyk.vladyslav@gmail.com](mailto:skrypnyk.vladyslav@gmail.com)

### ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМІШЕЙ ДЛЯ САМОВІРІВНЮЮЧИХ ПІДЛОГИ НА ГПСОВІЙ ОСНОВІ ЯКІ ПРЕДСТАВЛЕНІ НА РИНКУ УКРАЇНИ

В сучасному будівництві самовирівнюючі полімерні суміші широко використовуються для створення рівних основ перед укладанням підлогових покриттів. Ці суміші зазвичай містять традиційні в'язучі компоненти, наповнювачі та добавки, які забезпечують необхідні фізико-механічні властивості. Однак, під час їх використання можуть виникати проблеми, такі як недостатня міцність та зносостійкість.

Одним з можливих способів покращення властивостей самовирівнюючих сумішей є додавання до сухої суміші фрагментів базальтового волокна. Базальтове волокно є екологічно чистим матеріалом, що має високу міцність і стійкість до різних впливів. Його додавання може підвищити зносостійкість та зменшити стирання підлогових покриттів із самовирівнюючих сумішей, роблячи їх більш ефективними в експлуатації.

Таким чином, метою цього дослідження є порівняння основних характеристик двох типів самовирівнюючих полімерних сумішей українського виробництва та їх вдосконалення шляхом додавання базальтового волокна. У результаті дослідження буде отримана інформація про підвищення міцності та зносостійкості самовирівнюючих сумішей, що може бути корисним для будівельної галузі. В рамках даної роботи були порівняні дві самовирівнюючі полімерні суміші для підлогових покриттів: Будмайстер Д-319, Полімін ТП-5 та Baumit nivello quattro представлені на українському ринку.

**Дослідження.** Базальтове волокно використовується як армуючий матеріал у багатьох галузях, включаючи будівництво. Додавання базальтового волокна до самовирівнюючих



сумішей для підлог може поліпшити їх міцність на вигин та стиск, зносостійкість та інші характеристики.

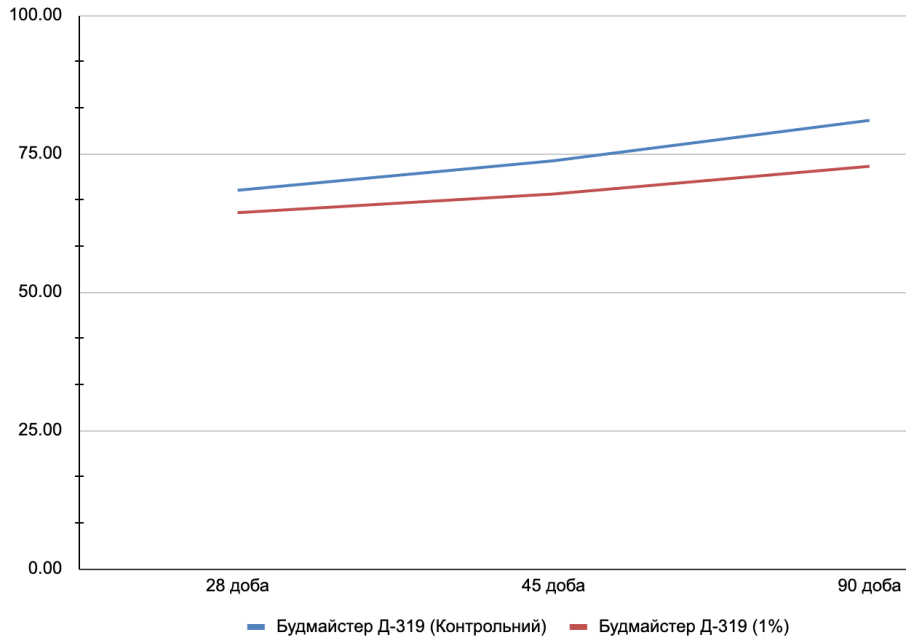
Було визначено оптимальна кількість базальтового волокна для додавання у самовирівнюючі суміші.

В експериментах було використано базальтоне волокно довжиною в 12 мм в наступних пропорціях: пропорція 1: 15 грам на 1500 грам суміші (1% від маси суміші).

Дані практичних досліджень двох сумішей показують наступне:

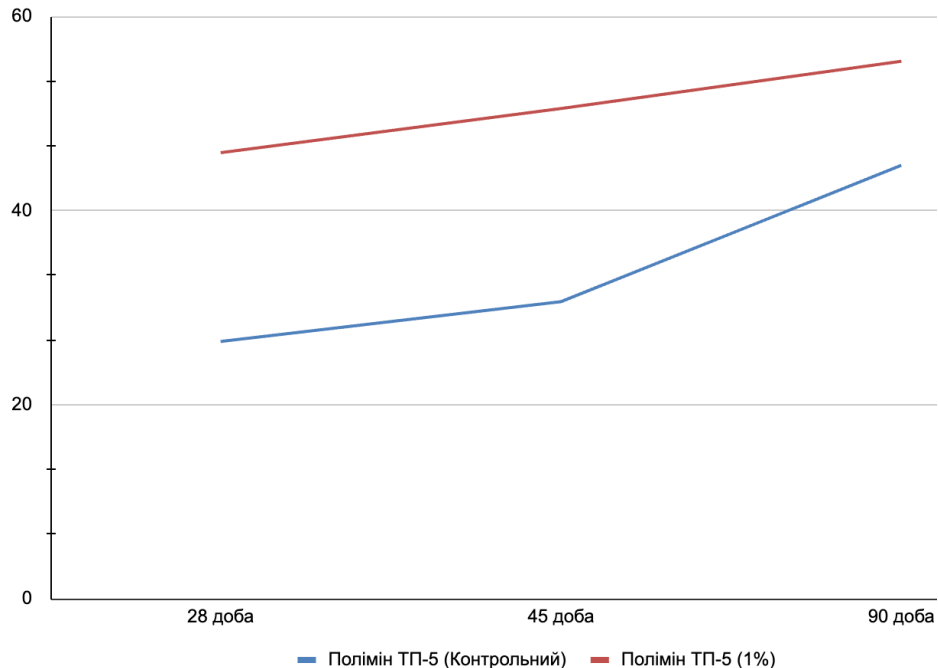
1. Будмайстер Д-319:

- Розтікання суміші: 180 мм
- Час тужавіння: 4 години 30 хвилин



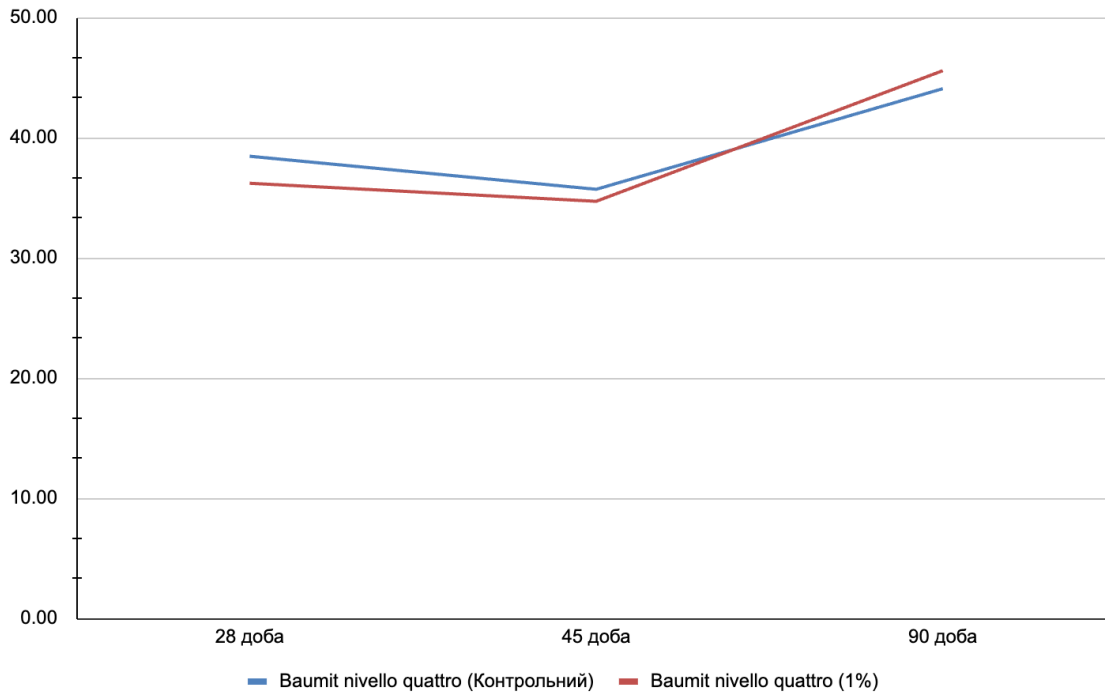
2. Полімін ТП-5:

- Розтікання суміші: 178 мм
- Час тужавіння: 1 година 10 хвилин



3. Baumit nivello quattro:

- Розтікання суміші: 180 мм
- Час тужавіння: 2 година 30 хвилин



### Висновки

За результатами дослідження можна зробити висновок, що додавання базальтового волокна значно покращує міцність на стиск Поліміна ТП-5. Проте, Будмайстер Д-319 має зниження міцності на стиск, коли додається 1% базальтового волокна, порівняно з Поліміном ТП-5. Також, виявлено, що з Baunit nivello quattro міцність на стиск не змінюється при додаванні 1% базальтового волокна.

З цих досліджень можна зробити висновок, що додавання базальтового волокна може бути корисним для покращення міцності на вигин підлогових покриттів для деяких сумішей, проте кількість волокна, що додається, потрібно вибирати залежно від конкретної суміші та способу її застосування.

### Список посилань

1. Довідник по ринку матеріалів для внутрішнього облаштування та оздоблення приміщень (за даними 2015 р.). За заг. ред. к.т.н., проф. П.В. Захарченка. КНУБА. - К.: СПД Павленко, 2016. - 260 с.
2. Захарченко П. В., Гавриш А. В., Онопрієнко В. В., Іванченко Ю. Ринок будівельних матеріалів України. Сучасні енергоефективні стінові будівельні матеріали: визначення проблеми та дослідження. Ознайомитися з доповіддю 19-ї Міжнародної конференції з будівельних матеріалів IBAUSIL. Веймар, 2015. Том 2, с. 1491 - 1496.
3. ДСТУ 3993-2000. Товарознавство. Терміни та визначення.
4. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення.
5. Про затвердження Єдиного класифікатора житлових будинків залежно від якості житла та наявного інженерного обладнання. Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. Наказ No 215 від 30.09.1998 р.
6. Класифікатор житла. Українська Будівельна Асоціація. Київ, 2006. -33с.

УДК 69.057.4

Ігнатенко О.О., канд. техн. наук, докторант  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
[ignatenko.oo@knuba.edu.ua](mailto:ignatenko.oo@knuba.edu.ua)

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ ПОКРИТТІВ ПІДЙОМНИМИ МОДУЛЯМИ

Сучасні організаційно-технологічні варіанти зведення великопрогонових покриттів передбачають два послідовних етапи монтажних робіт. На першому етапі традиційними крановими технологіями методом вільного підйому [1] утворюють конструктивно-технологічні блоки покриттів на низьких риштуваннях (висота до 2 м) та монтуєть елементи несучого каркасу (колони та міжколонні зв'язки). На другому етапі монтажних робіт з використанням безкранових технологій методами підтягування або виштовхування великопрогонові покриття піднімають на проекту висоту. Примусове вертикальне переміщення покриттів виконується методом підтягування або методом виштовхування [1] з використанням механізованого технологічного обладнання у вигляді підйомних модулів. Для обидвох варіантів примусового підйому покриттів були обов'язковими технологічні зупинки, які пов'язані з утворенням проміжних висотних монтажних площадок. Також, на дискретність процесу підйому впливали операції по монтажу (демонтажу) конструктивних складових підйомного обладнання. Оптимізація технологічних рішень по зведенню покриттів з використанням підйомних модулів за рахунок зменшення працездатності та тривалості монтажних робіт є актуальною задачею.

Дослідження організаційно-технологічних особливостей зведення металевих покриттів безкрановими методами були виконані на прикладі об'єктів, побудованих в Україні.

Технологія безкранового підйому великопрогонового покриття методом підтягування з розташуванням гідравлічних підйомників тягучого типу ПШ-330 на оголовках несучих колон каркасу була використана при будівництві цехів авіазаводу в м. Гостомель, Україна [2]. Підйом двох покрівельних блоків (загальна площа 40000 м<sup>2</sup>, розміри блоків 96x48 та 96x54 м, маса блоків до 1200 тон) на висоту 34 м був виконаний за 10 змін.

Характерним прикладом використання методу виштовхування зі спіранням ригелів покриття, що піднімається, на оголовки підрозумувальних стволів підйомників, є зведення покриття ангару розмірами 144 x 275м на авіазаводі у м. Києві, Україна [3]. Покриття площею 39600 м<sup>2</sup> і масою 1100т піднімалось на висоту 24 м за 12 змін. Підрозумування стволів підйомників виконувалось за допомогою гідропідйомників ПГ-300.

Переваги розглянутих варіантів підйому великопрогонових покриттів були враховані при розробці нового технологічного рішення..

Згідно з розробленою технологією, на початковій фазі з використанням кранів монтуєть спарені колони, міжколонні балки, на низьких риштуваннях формують конструктивно-технологічні блоки покриття. На внутрішніх поверхнях спарених колон закріплюють напрямні профілі. В міжколонному просторі на рівні фундаментів розташовують підйомні модулі, які складаються з гідроциліндрів, піддомкратної та наддомкратної балок, страхувальних стержнів та фіксаторів в підйому, закріплених на піддомкратній та наддомкратній балках. На наддомкратних балках розміщують опорні рами. На опорні рами опускають несучі ригелі блоку покриття. В процесі вертикального переміщення опорні рами та несучі ригелі покриття виштовхують підйомними модулями, які почергово спираються нижніми та верхніми фіксаторами підйому на напрямні профілі. Після досягнення несучими ригелями покриття проектної висоти, опорні рами з'єднують з оголовками спарених несучих колон. Звільнені від навантаження, підйомні модулі переміщують в міжколонному просторі до рівня фундаментів. Після чого виконується демонтаж підйомних модулів та напрямних профілів.

На рис. 1 показані дві основні фази робочого циклу підйомного модуля.

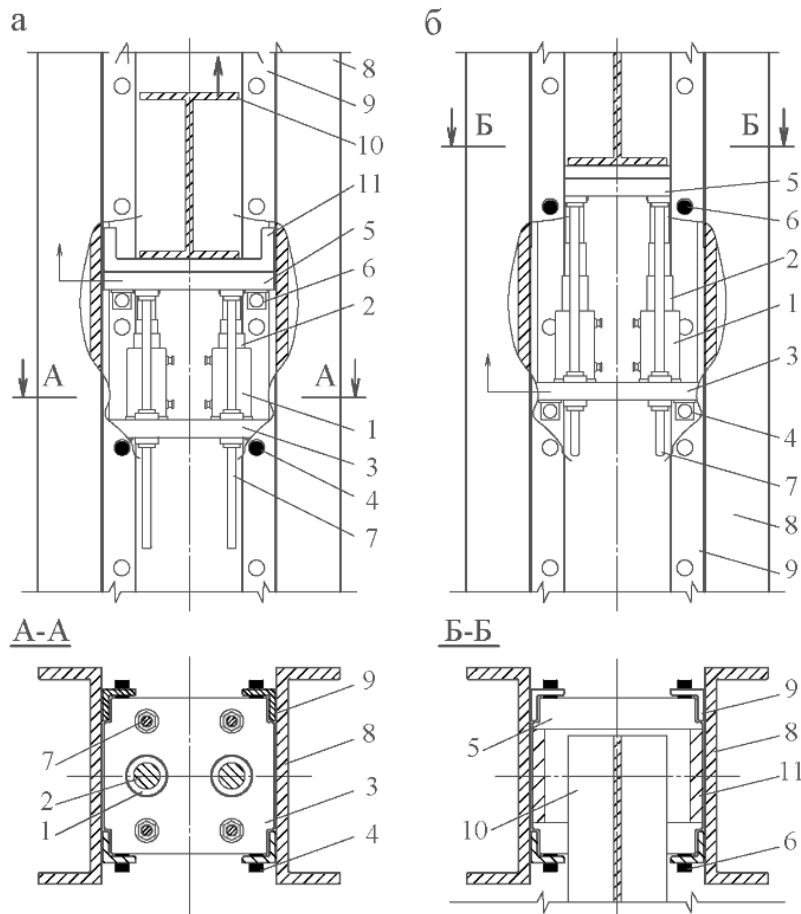


Рис. 1 – Фази робочого циклу підйомного модуля: а – виштовхування наддомкратної балки підйомника та опорної рами покриття, б – підтягування піддомкратної балки підйомника до наддомкратної балки, 1 – корпус гідроциліндра, 2 – шток гідроциліндра, 3 – піддомкратна балка, 4 – нижні фіксатори підйому, 5 – наддомкратна балка, 6 – верхні фіксатори підйому, 7 – страхувальні стержні, 8 – несучі спарені колони, 9 – напрямні профілі, 10 – несучий ригель покриття, 11 – опорна рама покриття.

Використання розробленої технології дозволяє оптимізувати монтажні процеси по зведенню покриттів за рахунок суттєвого зменшення кількості монтажних операцій та скорочення тривалості підйому покриттів на проектну висоту. Об'єми верхолозних робіт зменшуються до операцій по закріпленню опорних ригелів покриття на проектній висоті між оголовками колон несучого каркасу. За умови вдосконалення характеристик несучого каркасу, зведення конструктивно-технологічних блоків покриттів масою 1200 - 2400 тон може бути виконане розробленими підйомними модулями на висоту, більшу ніж 34м

#### Список посилань

1. Черненко В.К., Осипов О.Ф., Тонкачєєв Г.М., Назаренко І.І. Технологія монтажу будівельних конструкцій. За редакцією Черненко В.К., Київ, Будівельник, 2011, 374 с.
2. Назаренко В.Ф., Сытник Н.П., Николаев В.В., Гидроподъемные установки на монтаже большепролетных конструкций: Киев, Монтажные и специальные работы в строительстве. Научно-практический журнал. 1986, №5, С.15-20.
3. Федоренко П.П., Шкромда А.А. Индустриальные методы строительства промышленных предприятий: Киев, Будівельник, 1988, 200 с.

УДК 624.9

Нужний В.В., старший викладач

Київський національний університет будівництва і архітектури, [Nuzhnyy@gmail.com](mailto:Nuzhnyy@gmail.com)

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИХРОВОГО ВІТРОВОГО ЗБУДЖЕННЯ НА БАШТОВІ СПОРУДИ

Вихрове збудження в баштових спорудах є однією з актуальних проблем при проектуванні даних споруд. Явище вихрового збудження проявляється при дії на споруди вітру – коли виникає почерговий зрив вихорів з кромки споруди, що призводить до інерційних затухаючих коливань в площині, перпендикулярній до дії вітру. Саме це коливання і у більшості випадків і є помітним для спостерігача при дії вітру [1,2]. Парадоксом є те, що в системі національних норм України до 2020 не було згадок про необхідність розрахунку споруд, але як показали дослідження це явище є ключовим в роботі баштових споруд і може призводити до колапсичних наслідків. Схема явища зображена на рис.1

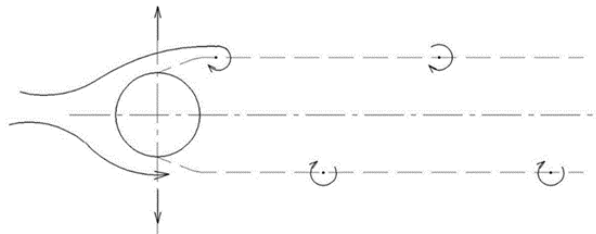


Рис 1 – Схема розвитку вихрового збудження

Наукова методика дослідження цього явища полягає в обдуванні моделі консольної баштової споруди в аеродинамічній трубі, визначенні амплітуди відхилення верхньої точки. Після чого розв'язується диференціальне рівняння автоколивань споруди з визначенням параметрів напружено-деформованого стану, як було використано при дослідженні вежі «Лотов» на Шрі-ланці [3] Така методика є наукоємною і складною для використання. Тому при дослідженнях були впроваджені в [4] спрощені розрахункові еквівалентні схеми, які дозволяють залежно від власної частоти коливань споруди, її приведеної маси та жорсткісних характеристик визначати зусилля від вихрового збудження. Залежно від швидкості вітру і динамічних характеристик споруди коливання можуть відбуватися за трьома формами власних коливань (див. рис.2)



Рис.2 – Розрахункова схема та три власні форми коливань баштових споруд

Форма власних коливань, по якій відбувається та чи інша форма власних коливань залежить від критичної швидкості вітру для  $i$ -ої частоти:

$$V_{cr,i} = \frac{n_i d}{S_t},$$

де  $n_i$  –  $i$ -та частота власних коливань,  $d$  – середній діаметр споруди,  $S_t$  – число Струхаля, яке для перерізів з гострими кромками приймається 0,11.

Було проведено дослідження чотирьох баштових споруд висотою від 11,355, 22, 25,575, та 48 м – рекламних стел «Макдональдс». Всі споруди реалізовані, розраховані на дію фронтального вітру, відповідають умовам жорсткості

Дослідження показало, що для всіх споруд вихрове збудження найчастіше відбувається за першою власною формою власних коливань, яка відбувається вже при помірних швидкостях вітру від 3,54 до 5,82 м/с для досліджуваних споруд. Аналіз архіву погоди показав, що для умов наприклад Києва і Київщини кількість коливальних циклів може сягати від 2,6 до 14 млн циклів на рік залежно від власної частоти. Це свідчить про те, що споруди треба розраховувати на витривалість із обмеженням рівня напружень до межі витривалості. Результати розрахунків заведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків споруд на вихрове збудження за першою власною частотою

Параметр	Розрахована споруда			
	Пілон висотою 1,355м	Пілон висотою 22 м	Пілон висотою 25,575 м	Пілон висотою 48 м
Опорний момент при розрахунку на фронтальний вітер, кНм.	47,4	323,9	483,0	857,7
Момент в опорі від вихрового збудження, $M_v$ , кНм	1,404	43,6	75,4	373,25
$\frac{M_v}{M} \cdot 100\%$ в дужках відсоток у порівнюванні до зусиль від фронтального вітру за Єврокодом	3,4	19,1	18,7	48

Як показали дослідження, вплив вихрового збудження зростає не лінійно по висоті і вимагає пильної уваги для споруд висотою понад 20 м. Зусилля від вихрового збудження необхідно враховувати одночасно з дією максимального фронтального вітру. Розрахунки треба здійснювати з врахуванням межі витривалості, оскільки кількість коливальних циклів дуже висока. Особливого аналізу на витривалість потребують деталі опорних вузлів баз, зварні шви, анкерні болти, тощо.

Розрахунок флагштока висотою 48 м показав, що в цій споруді може відбуватися вихрове збудження за другою формою власних коливань при швидкості 17,2 м/с Аналогічні дослідження в роботі [5] показують, що в споруді висотою 37,9 м можуть виникати коливання і за другою і за третьою власним частотами. Зусилля від вихрового збудження за другою і третьою власними формами можуть перевищувати зусилля від фронтального і кількість коливальних циклів потребує ретельних досліджень. Також для таких споруд доцільне використання конструктивних засобів для запобігання зриву вихорів.

#### Список посилань

- 1.Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, - 704 p.;
2. Priyan Mendis, Shiromal Fernando, John Holmes, Tharaka Gunawardena, Yousef Abu-Zidan, Priyan Dias. Wind induced fatigue analysis of Lotus Tower Mast. Nineteenth Australasian Wind Engineering Society Workshop, April 4-6, 2018, Torquay, Victoria
3. Giosan, I. and Eng, P. (2007) Vortex Shedding Induced Loads on Free Standing Structures, Structural Vortex Shedding Response Estimation Methodology and Finite Element Estimation. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.582.3179>

4. Eurocode 1: Basis design and action on structures. Part 2-4: Wind action". ENV 1991-2-4, CEN, 1994
5. Rakočević, M., Popović, S.: Calculation procedure for determining wind action from vortex-induced vibration with verification of fatigue strength of steel structures, GRAĐEVINAR, 70 (2018) 9, pp. 793-809, <https://doi.org/10.14256/JCE.2125.2017>

УДК 691.57

Ластівка О.В., канд. техн. наук, доцент  
Смоглий А.Г., аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, [oles.lastivka@gmail.com](mailto:oles.lastivka@gmail.com)

## БЕТОННІ СУМІШІ НА ОСНОВІ МОДИФІКАВАНИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІВ ДЛЯ АДАТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Бетон є одним з найпоширеніших будівельних матеріалів в галузі будівництва, сфери застосування якого постійно розширюються. Одним з найбільш перспективних є використання бетонів по адитивній технології (3D-друк). Очікується, що будівельна галузь зазнає великих трансформацій завдяки технології 3D-друку бетону. Зважаючи на це основну увагу слід привернути до розробки нових складів бетонної суміші для технології 3D друку, яка відрізняється від звичайної технології монолітного бетонування. При цьому 3D-принтери можуть завершити будівництво одноповерхової будівлі протягом 12-24 годин, що забезпечує швидке будівництво конструкцій. Технологія 3D-друку привертає увагу, оскільки вона швидша, ніж традиційне будівництво, менш дорога, менша трудомісткість і менш помилкова.

Зважаючи на це до бетонних сумішей, що формуються методом пошарової екструзії, пред'являються вимоги, які безпосередньо залежать від експлуатаційних, рецептурних та технологічних факторів, Серед них: прокачуваність для отримання ефективного її транспортування через сопло друкарського принтера; формостійкість надрукованих шарів; прискорене початкове структуроутворення; висока адгезія надрукованих шарів; підвищені фізико-механічні характеристики сформованого конгломерату.

Тому перспективним є створення бетонної суміші яка б забезпечувала стабільні технологічні характеристики залежно від регламентованих умов призначення, із отриманням регульованих строків тужавіння та ранньої міцності бетонів, так як це висувається при швидкому зведенні бетонних конструкцій.

За результатами досліджень виявлено, що природа активних мінеральних та модифікуючих добавок впливає на реологічні та експлуатаційні характеристики. Так, введення карбонату кальцію у кількості 20 % знижує рухливість бетонної суміші на 50 %, порівняно із контрольним складом. При цьому рання міцність бетону з використанням карбонату кальцію зростає на 10 %. В той же час введення кремнеземистої добавки сприяє зростанню рухливості бетонної суміші на 20 % зі зростанням міцності бетону, як в ранньому так і проектному віці.

Введення модифікуючої добавки у вигляді полікарбосилату сприяє зростанню рухливості бетонної суміші, підвищує її однорідність та ефективність пошарового укладання, зі зростанням ранньої та проектною міцності бетону на 20...30 %.

### Список посилань

1. Spyrou V.E. Powder Coatings - Chemistry and Technology / V.E. Spyrou // European Coatings Tech Files 3rd, 2004. – 384 p.

УДК 620.172.2:624.94.012.45

Гасенко Л.В., канд. техн. наук, доцент

Слонь В.В., канд. техн. наук, доцент

Херсонський державний аграрно-економічний університет, linahasenko@gmail.com

Дарієнко В.В., канд. техн. наук, доцент

Центральноукраїнський національний технічний університет, vvdarienko@gmail.com

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕЦИКЛЬОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

У зв'язку з повномасштабним вторгненням РФ на територію України, сьогодні існує нагальна потреба у капітальному відновленні, реконструкції та реставрації будівель і споруд громадських, житлових комплексів та промислових підприємств, які були пошкоджені та зруйновані внаслідок надзвичайних ситуацій під час бойових дій [1]. Комплексне вирішення цієї проблеми передбачає ефективні (раціональні) конструктивні рішення, розробку та впровадження ресурсозберігаючих методів і технологій будівництва з одночасним забезпеченням вимог щодо їх економічності, раціонального природокористування під час їх виготовлення й надійності на всіх етапах життєвого циклу, що має практичну цінність для органів державного управління при формуванні стратегічних і програмних документів. Основними принципами раціонального природокористування в контексті сталого розвитку є:

- споживання природних ресурсів має бути на «нульовому рівні»;
- відповідність між антропогенними навантаженнями та ресурсним потенціалом окремого регіону;
- збереження цілісності природних екосистем у процесі господарської експлуатації;
- збереження природного кругообігу речовин у процесі антропогенної діяльності;
- збалансування промислового та природного ритмів використання матеріалів;
- пріоритет екологічної оптимальності в довгостроковій перспективі.

Зазначеним пояснюється актуальність розробки шляхом підбору, адаптації і удосконалення ресурсощадних інженерних рішень та технологій застосування рецикльованих будівельних матеріалів для відновлення несучих і огорожувальних конструкцій будівель та споруд, пошкоджених у результаті воєнних дій та терористичних актів [2]. Рецикльовані будівельні матеріали можуть бути отримані під час демонтажу зруйнованих частин будівель та споруд із врахуванням атмосферних впливів на них під час знаходження у незаконсервованому зруйнованому вигляді, що забезпечить підвищений рівень раціонального природокористування.

Результатом досліджень буде економічне та раціональне удосконалення існуючих конструкційних рішень і методів розрахунку несучої здатності та експлуатаційних характеристик несучих та огорожувальних конструкцій будівель і споруд, які можна як підсилювати, так і реконструювати. Залежно від визначених граничних критеріїв руйнування конструкцій, відбудеться формування (типізація) їх граничного напружено-деформованого стану із врахуванням перерозподілу зусиль під час підсилення [3].

### Список посилань

1. Майже 160 тисяч будівель і споруд в Україні зруйновані через війну. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3780899-majze-160-tisac-budivel-i-sporud-v-ukraini-zrujnovani-cerez-vijnu.html> (дата звернення 01.11.2023).
2. Гасенко, А.В., Новицький, О.П., Пенц, В.Ф. (2021). Реконструкція багатопверхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозберігальних конструктивних рішень. *Зб. наук. пр.: Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки*, 2 (94), 27-40. <https://doi.org/10.31713/vt220214>



3. Гасенко, А.В., Кириченко, В.А., Крупченко, О.А. (2013). Чисельні дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних ребристих плит покриття. *Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*, 4 (39), Т.1, 78-83.

УДК 624.971:624.014.2

**Гасенко А.В.,** докт. техн. наук, доцент  
**Фенко О.Г.,** канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
gasentk@gmail.com

**Бібік М.В.,** канд. техн. наук, доцент

**Падун Ю.С.,** інженер

ТОВ «СОЛІД ПОЛТАВА», м. Полтава, nbibik@gmail.com

### ТИПИ АНТЕННИХ СПОРУД МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

На початку розвитку мобільного зв'язку в Україні одним з головних недоліків було різке погіршення якості зв'язку через недостатнє покриття або віддаленість абонента від базової станції в певних точках місцевості. Рішенням цієї задачі було швидке і масове розширення та ущільнення мережі базових станцій. Проте, швидке, масове, подекуди хаотичне і нерегульоване будівництво мало і негативні наслідки, що відобразилось на надійності антенних споруд та неефективності прийнятих конструктивних рішень.

З метою аналізу загальної характеристики фонду антенних споруд мобільного зв'язку запропоновано їх узагальнену класифікацію (див. рис. 1). Регулярна повторюваність аварій та руйнувань антенних споруд вказують на те, що існуючі методи розрахунку і проектування таких конструкцій не враховують їх усі конструктивні особливості [1]. Одними з найбільш ефективних та масово використовуваних антенних споруд є решітчасті вежі та щогли [3]. Основною перевагою решітчастих веж є невелика площа забудови, однак з точки зору витрати сталі щогли є більш економічно ефективними. Для техніко-економічної ефективності не тільки підбираються раціональні типи поперечних перерізів елементів, а й розробляються різні комбіновані конструктивні системи [2]. Яскравим прикладом є впровадження у масове будівництво комбінованих опор на базі конічної залізобетонної стійки СК-26, поверх якої встановлена сталева решітчаста надставка.

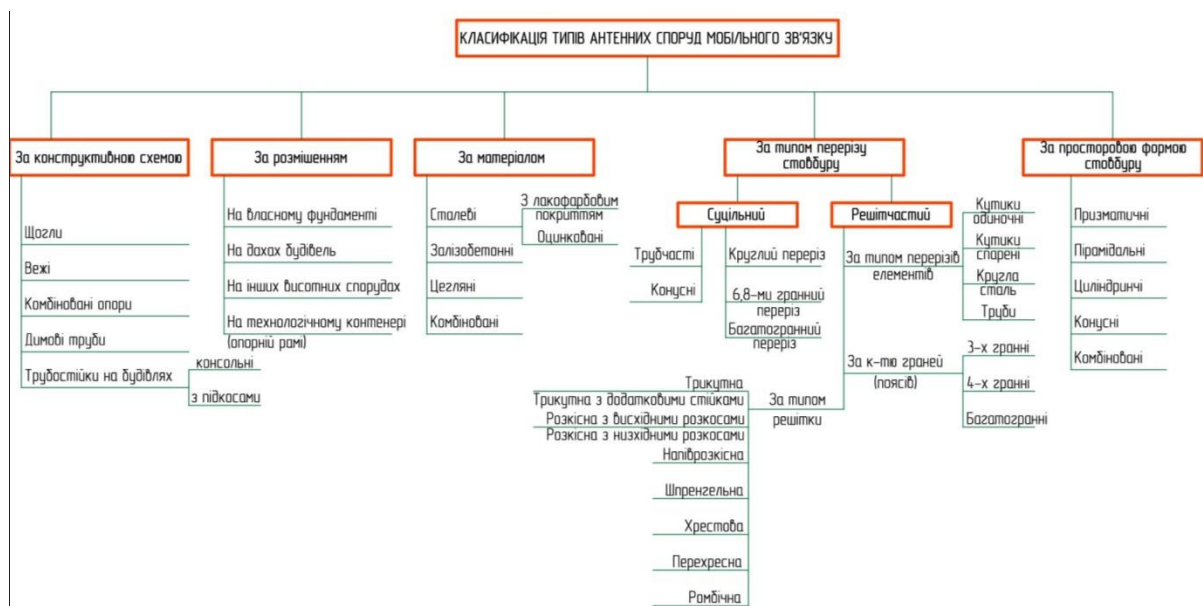


Рис. 1 – Класифікація типів антенних споруд мобільного зв'язку в Україні

### Список посилань

1. Пічугін, С.Ф., (2018). *Металеві конструкції. Спеціальні металеві конструкції. Курс лекцій – частина 5*. Полтава: ПолтНТУ.
2. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Куценко, О.Є. (2007). Випробування трубобетонних елементів із ослабленим осердям. *Зб. наук. пр.: Дороги і мости*, 7, 2 т., 162-168.
3. Mogens G. Nielsen. (2009). The Analysis of Masts and Towers. *International Journal of Space Structures*, 24(2), 97-102. <https://doi.org/10.1260/026635109789043269>

УДК 553.98.061.4 (1/9) (477.5)

**Іванишин В.А. докт. геолог. наук, професор**  
Національний університет «Чернігівська політехніка»

## **ЗОНИ РОЗУЩІЛЬНЕННЯ В ОСАДОВИХ ПОРОДАХ ПАЛЕОЗОЮ НА НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩАХ ГЛИНСЬКО-РОЗБИШІВСЬКОГО ВАЛУ В ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКІЙ ЗАПАДИНІ**

Одним з головних критеріїв, за яким визначається перспективність відкладень на нафту чи газ, є наявність в них порід-колекторів та їх якість, яка характеризується величиною пористості, газопроникності і щільності порід.

У світовій нафтогазовій і інженерно-геологічній науці до недавня вважалося, що пористість і проникність порід з глибиною зменшується, а щільність зростає. Таке твердження виглядало ніби логічним, тому що зі збільшенням глибини зростає температура і гравітаційний тиск товщі порід, яка залягає вище, а це спричиняє вторинні зміни порід і погіршує їх колекторські властивості. Такий погляд на цю проблему вважався аксіомою, в нього вірили. Але «на віру», як відомо, все сприймається в релігії. В науці, навпаки, істини, навіть «вічні», повинні піддаватися сумніву. Застосування мною такого «методичного» підходу в наукових дослідженнях увінчалось відкриттям, яке було зроблено 1976 році, а оприлюднено у 1979.

Мною була спростована теза про прямолінійне, поступове погіршення з глибиною таких фізичних властивостей порід як пористість, проникність, щільність. Встановлено, що характер цих змін значно складніший. В деяких випадках він прямолінійний, в інших ступінчастий, або переважно, хвиле- чи синусоїдоподібний, що свідчить про наявність в осадових породах на великих глибинах розущільнених зон, в яких породи мають високі колекторські властивості. Тобто поклади вуглеводнів можуть формуватися на будь-якій глибині, незалежно від поглядів на їх походження.

Такий теоретичний висновок кардинально змінив точку зору на перспективність глибоко занурених відкладень у нафтогазових басейнах, не лише у Дніпровсько-Донецькому, але і у всіх нафтогазових басейнах Землі. Ствердив доцільність випробування порід в цих розущільнених зонах на наявність в них скупчень вуглеводнів.

В розвиток викладеного мною було охарактеризовано понад сімдесят виявлених зон розущільнення в осадовій палеозойській товщі на нафтогазових родовищах (Андріяшівському, Василівському, Чижівському, Глинсько-Розбишівському, Харковецькому, Клиньсько-Краснознаменському) а також на Веселій, Бажківській, Середняківській площах, котрі утворюють Глинсько-Розбишівський вал у Дніпровсько-Донецькій западині. В породах частини цих зон (горизонтів) виявлені поклади вуглеводнів. Залишились недослідженими понад п'ятдесят таких горизонтів, які також можуть бути містилищами для нафти чи газу, а тому їх також потрібно випробувати. Результати досліджень поставили під сумнів спіральний характер розвитку глобальних всесвітніх процесів. Вони можуть розвиватися переважно хвиле – або синусоїдоподібно.

УДК 351.811.111

Корнієнко І.В., канд. техн. наук, доцент  
Корнієнко С.П., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», cornel@ukr.net

## ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНА ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА М. ЧЕРНІГОВА

Геоінформаційна система (ГІС) призначена для інженерно-технічного, управлінського та наукового супроводження розвитку дорожньо-транспортної системи міста Чернігова, що містить єдину схему організації дорожнього руху, відомості щодо конструкції об'єктів дорожньої інфраструктури, логічну мережу автомобільного, пішохідного та велосипедного руху придатну для вирішення логістичних задач, функціональні модулі просторового аналізу і підтримки прийняття управлінських рішень.

Цілями створення дорожньо-транспортної геоінформаційної системи є:

- перехід від окремих паперових проєктів улаштування вулично-дорожньої мережі до єдиної автоматизованої ГІС, яка містить просторово-координовану інформацію про дорожню і транспортну інфраструктуру населеного пункту, що забезпечує автоматизовану підтримку процесів прийняття управлінських рішень при управлінні дорожнім господарством;
- створення, накопичення, ведення та представлення картографічних матеріалів з відображенням дорожньо-транспортної інфраструктури вулиці, а саме: проїзної частини, тротуарів, велодоріжок, елементів організації дорожнього руху (дорожні знаки та дорожня розмітка), конструкції улаштування дорожнього полотна, інших інфраструктурних об'єктів дорожньо-транспортної мережі;
- подання картографічної інформації в режимах планового детального представлення і стратегічного планування дорожньо-транспортної мережі населеного пункту;
- аналітичне відображення накопиченої статистичної інформації щодо параметрів і характеристик автомобільного, пішохідного та велосипедного руху, ретроспективи улаштування елементів вулично-дорожньої мережі, класифікацію об'єктів вулично-дорожньої мережі за категоріями, аналітична підготовка статистичної інформації для формування схем прибирання міста;
- створення альтернативних шарів концептуальних проєктних пропозицій з розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури міста;
- скорочення обсягів трудомістких операцій, пов'язаних з обміном інформацією, що виконуються на всіх етапах технологічних процесів та виробничо-господарської діяльності;
- скорочення термінів та підвищення якості прийняття управлінських рішень у сфері розвитку дорожньо-транспортного господарства міста;
- технологічна підтримка збору та оброблення звітної інформації, автоматизація складання звітів.

Дорожньо-транспортна ГІС міста Чернігова налічує наступні інформаційно-функціональні модулі:

Модуль загального представлення вулично-дорожньої мережі та основних елементів міської інфраструктури (рис. 1). Призначення модулю: аналітичне представлення дорожньої ситуації, управління будівництвом, ремонтом, реконструкцією та утриманням, планування безпеки дорожнього руху.

Модуль (група шарів) детального представлення вулично-дорожньої мережі (рис. 2). Призначення модулю: детальне крупномасштабне представлення елементів вулично-дорожньої мережі та організації дорожнього руху, оперативне ведення технічної інформації по вулично-дорожньої мережі, перспективне планування конфігурації вулично-дорожньої мережі та організації дорожнього руху, оперативний облік і ведення статистики по дефектам.

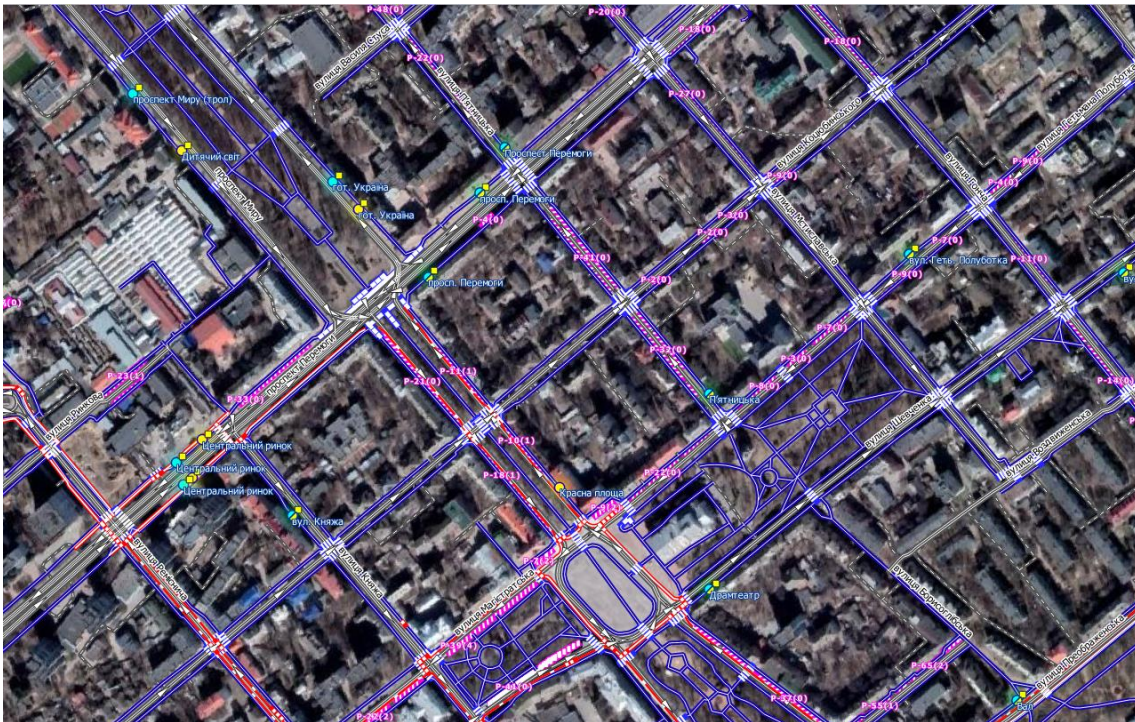


Рис. 1 – Загальне представлення вулично-дорожньої мережі міста



Рис. 2 – Детальне представлення вулично-дорожньої мережі міста

Модуль маршрутизації. Призначення модулю: виконання мережного аналізу, прокладання маршрутів для транспортних засобів на основі використання лінійно-вузлової топологічної моделі вулично-дорожньої мережі. Формування маршрутно-часових карт.

УДК 726:27-523.42](477.51)

Завацький С.В., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Павленко В.В., народний архітектор України, ст. викладач  
Кухаренко С.І., здобувачка вищої освіти

Національний університет «Чернігівська політехніка», s.zavatski@gmail.com

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНО-ХУДОЖНІХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕКСТЕР'СРУ ЗНИЩЕНОЇ ВОЗНЕСЕНСЬКОЇ ЦЕРКВИ

В роботі [1] повідомлялось про відновлення архітектурних креслень однієї з перлин дерев'яного зодчества Поліських народних майстрів – Березнянської церкви Вознесіння Господнього (1759 - 1765 р.р.). Виконати непросте завдання вдалося завдяки дослідженням С. А. Таранушенка – відомого українського мистецтво- та пам'яткознавця, які тривали понад півстоліття і були опубліковані в його фундаментальній праці всього життя – монографії «Монументальна дерев'яна архітектура Лівобережної України» [2]. Опубліковані в цьому виданні, а також в більш пізніх і повних виданнях рукопису С. А. Таранушенка [3, 4], оброблені матеріали натурального дослідження пам'яток на місцях, дали можливість уявити не тільки конструктивно-композиційні особливості церкви Вознесіння,

а й детально опрацювати її архітектурно-художній образ і, за обмірними креслениками відтворити креслення фасадів втраченого храму [1].

В даному дослідженні представлені результати комп'ютерного відтворення архітектурних та художніх елементів Березнянської церкви Вознесіння Господнього, унікального зразка збудованого в стилі українського бароко Ніжинським майстром Панасом Семеновичем Шолудком [2]. Пам'ятку народного дерев'яного зодчества Чернігівщини було знищено за радянські часи в 30-тих роках минулого століття.

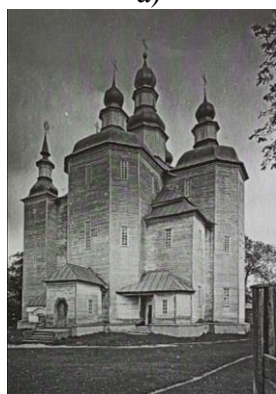
3-D моделювання будівлі храму було виконано за допомогою програмного комплексу «ArchiCad». Дерев'яну церкву було відтворено від цегляного підмурка, на якому зведена будівля, до розкішного купольного ансамблю храму і сакральної композиції християнських символів. При цьому приділялася велика увага збереженню пропорційності щодо основних архітектурних елементів і форм загальної композиції будівлі. Зазначимо, що при аналізі наявного фотографічного матеріалу [2, 3, 4] і подальшій його комп'ютерній обробці було враховано



а)



б)



в)



г)

Рис. 1 – Видляди Вознесенської церкви 1759-1761 рр.: з південного заходу (а) та сходу (б), світлини 1928 р. [4]; б), г) – скріншоти з 3D моделі церкви.

Автор С.І. Кухаренко

неповторну індивідуальність та конструктивну особливість кожного фасаду будівлі (див. рис. 1).

На рисунку 2 наведено порівняльні зображення західного фасаду церкви, який відзначається багато декорованою вхідною групою та незвичайною формою арки. Як

бачимо з рисунка 2 унікальність окреслення арки і зуження слупів доверху вдалося відтворити з достатньо високою точністю. Слупи західного фасаду гармонійно поєднані балконом з розкішною балюстрадою, що підсилює гру світлотіней. Художня витонченість декоративних елементів балкона засвідчує про мистецьку обдарованість та витончений смак народних майстрів Придесення.

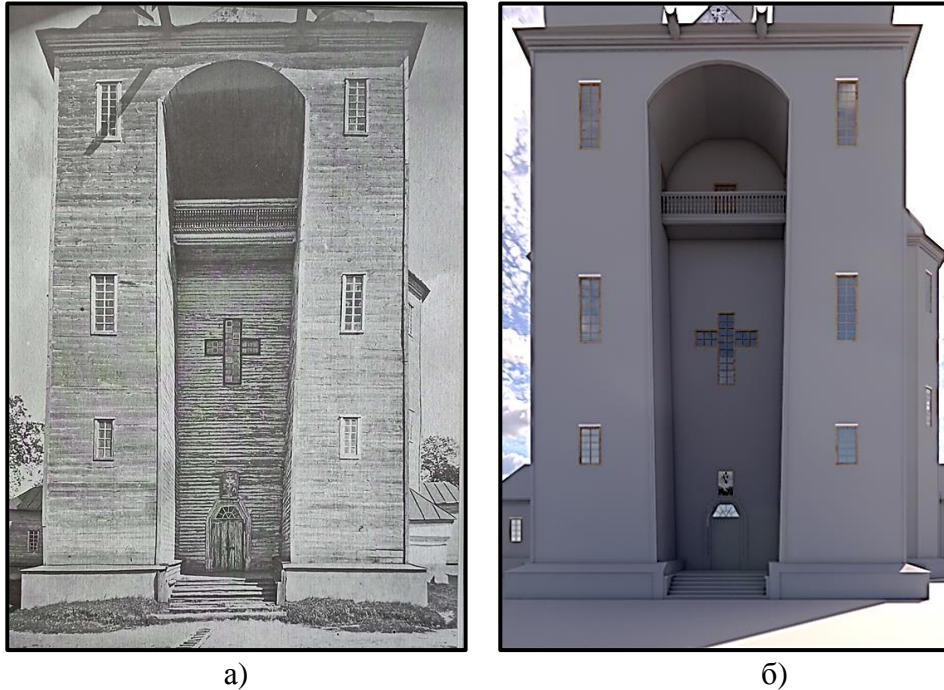


Рис. 2 – Західний фасад Вознесенської церкви 1759-1761 рр.:  
а) – світлина 1928 р. [4]; б) – скріншот фасаду з 3D моделі.  
Автор С. І. Кухаренко



Рис. – 3 Одвірок західних дверей  
Вознесенської церкви 1759-1761 рр.: а) – світлина 1928 р. [4]  
б) – комп'ютерне відтворення дизайну входних дверей західного фасаду.  
Автор С. І. Кухаренко

В комп'ютерному моделюванні архітектурних елементів західного фасаду окрім художньої витонченості декоративних деталей балкона відтворено також трапецієвидне вікно, розташоване над входними дверима (див. рис. 3), складене з трикутних сегментів,

кожен з яких поділено на три частини – рівностороннього трикутника і двох прямокутних трапецій. Такі барокові деталі додають художньої витонченості та легкості дерев'яним дверям. Відтворено периметр одвірка, окантованого бордюром з напівкруглих зубчиків. Над дверима встановлено прототип ікони «Вознесіння Господнього».

Максимально близько до фотографічних зображень [4] в 3D моделі Березнянської церкви вдалося виконати візуалізацію купольної композиції п'ятиверхого храму, яка складається з трьох різних форм куполів (див. рис. 4).

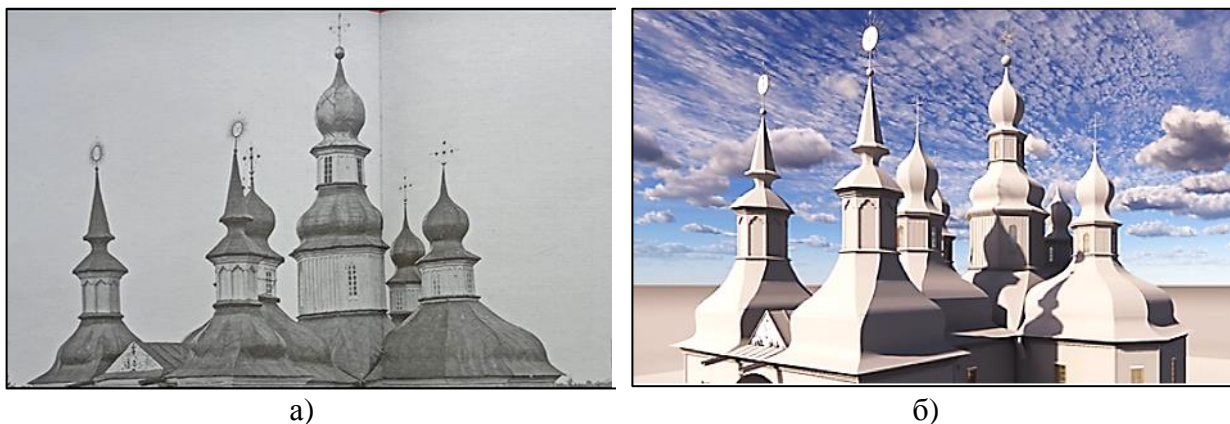


Рис. 4 – Купольна композиція Березнянського храму: а) – світлина 1928 р. [4]; б) – скріншот 3D моделі. Автор С. І. Кухаренко

Купол центральної дільниці поєднується з восьмигранним барабаном, вікна якого розташовані на північно-західній, південно-західній, північно-східній та південно-східній сторонах. Барабан увінчуються восьмигранним куполом, який переходить у восьмигранну ланternу прикрашену канелюрами та увінчану главкою. Вікна центральної ланternи розташовані за принципом бокових лантерн.

Куполи південного, північного рукавів та вівтаря мають восьмигранну основу, яка зменшуючись у діаметрі поєднується з восьмигранною ланternою, оздобленою як лантерна бабинця та увінчана главкою.

Купол бабинця поєднується з восьмигранною ланternою, що містить вікна на північній, південній, східній та західній сторонах. Лантерна прикрашена канелюрами, увінчана карнизом та главкою.

Куполи слупів мають менші розміри за купол бабинця, поєднуються з вишуканою ланternою, кожну грань якої прикрашено трипелюстковою аркою. Колони арки в основі своїй мають коло. Лантерни увінчані карнизами та восьмигранними шпильями.

Кожен елемент купольної композиції завершується карнизом.

Над купольним ансамблем, неначе летить у небо, композиція з сакральних символів: позолочених хрестів, «сонечок», персоналізованих літер, які символізують Ісуса Христа і Богородицю, куль, півмісяців, елементів квіток лілеї, як символів духовної чистоти [5].

Первісний ефект легкості та прозорості від піднесених в небо хрестів, було досягнуто засобами комп'ютерної візуалізації їх ажурності і променистості (див. рис. 5).

В даній роботі вдалося досягти створення візуальної моделі, знищеної архітектурної пам'ятки доби Гетьманщини, церкви Вознесіння Господнього в с. Березна, Чернігівської області. При відтворенні планів і фасадів, крім розмірів зазначених С. А. Таранушенку до фотографічних матеріалів були застосовані методи наукового зіставлення та пропорційного співвідношення архітектурно-конструктивних елементів будівлі.

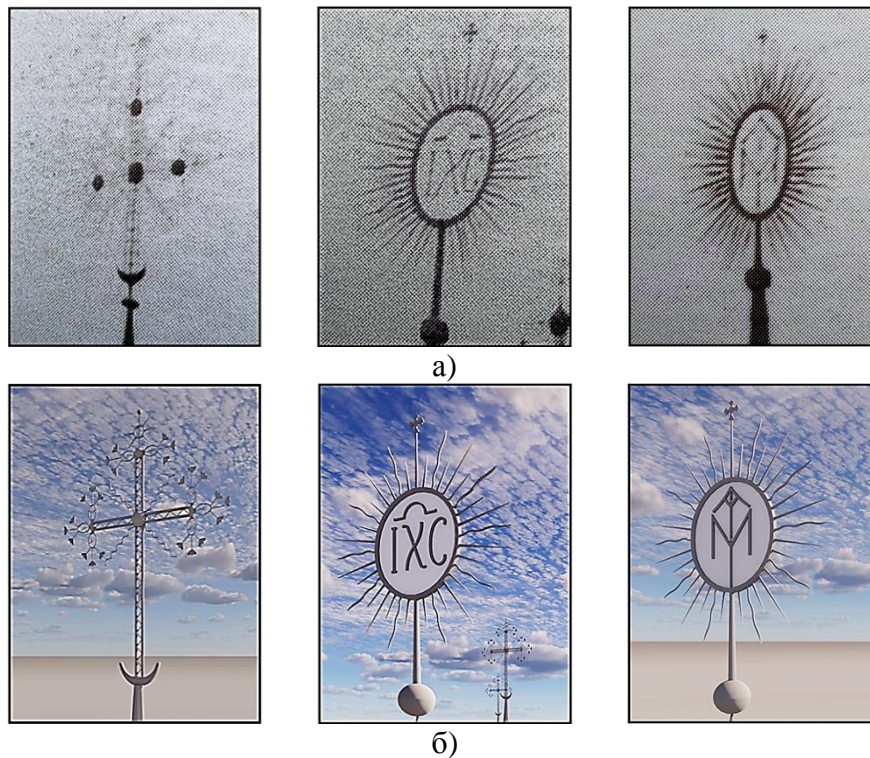


Рис. 5 – Сакральні символи купольного ансамблю Вознесенської церкви 1759-1761 рр.: а) – збільшені ділянки світлин 1928 р. [4]; б) – скріншоти з 3D моделі купольних хрестів та «сонечок»

Комп'ютерна реконструкція унікальних архітектурних та декоративних елементів, відобразила їх гармонійне поєднання, а також цілісність загальної композиції церкви.

Отже, відтворення у 3D моделях втрачених архітектурних пам'яток відіграє важливу роль для визначення національної та етнокультурної самобутності українського народу та підтвердження внеску його зодчих у розвиток світового монументального мистецтва.

#### Список посилань

1. Завацький С.В., Павленко В.В., Землянська К.С., Кухаренко С.І. Шедеври монументальної дерев'яної архітектури Придесення: конструктивно-композиційні особливості втраченого храму вознесення господнього в с. Березна // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023) : матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 2. – С. 132 – 135.
2. Таранушенко С.А. Монументальна дерев'яна архітектура Лівобережної України. – К.: Будівельник, 1976. – 336 с.
3. Таранушенко С.А. Дерев'яна монументальна архітектура лівобережної України. Повна редакція / Стефан Таранушенко ; передне слово С.І. Білокінь; передм., наук. ред., додатки В.В. Вечерський; упоряд., прим. О.О. Савчук. — Харків: видавець Савчук О.О., 2014. — 896 с. ; 1033 іл. — Серія «Слобожанський світ». випуск 8.
4. Таранушенко С.А. Знищені шедеври української дерев'яної сакральної архітектури. Книга з доповненою реальністю / Стефан Таранушенко ; передмова В. В. Вечерський; упоряд., прим. О. О. Савчук. — Харків: видавець Олександр Савчук, 2021. — 224 с.
5. В. Мойсеєнко. Хрест з півмісяцем – вічні символи. - К.: Оранта, 2006. - 128 с.



УДК 624.072.014.2

Підгурський М.І., док. техн. наук, професор  
 Підгурський І. М., канд. техн. наук, доцент  
 Биків Д.З., аспірант

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТВОРІВ НА МІЦНІСТЬ ТА ЖОРСТКІСТЬ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК З СИНУСОЇДАЛЬНОЮ ПЕРФОРАЦІЄЮ

Перфоровані сталеві двотаврові балки з синусоїдальними отворами є поліпшеними конструкціями у порівнянні з балками, що мають шестикутні та восьмикутні отвори. Основним недоліком останніх є точкова концентрація еквівалентних напружень на кромці в кутах отворів [1]. Такої проблеми не виникає в балках з круглою перфорацією, навіть при згущенні сітки скінчених елементів на кромці отвору [2], але такі конструкції мають свій недолік – при їх виготовленні деяка частина матеріалу втрачається при їх виготовленні.

Таким чином, перфоровані балки з синусоїдальними отворами вирішують одразу декілька проблем: завдяки згладженій формі зменшується концентрація напружень; метод виготовлення таких конструкцій є майже безвідходним; підвищуються естетичні властивості конструкцій в цілому.

На міцність та жорсткість перфорованих балок із зазначеними вище отворами впливають геометричні параметри їх отворів [3]. Так з одного первісного перерізу, яким є гарячекатана двотаврова балка, можна виготовити перфоровану з підвищеними міцнісними та деформаційними характеристиками, змінюючи лише геометричні параметри отвору.

Для встановлення закономірностей, були визначені основні параметри синусоїдального отвору (рис. 1). Основними параметрами дослідження стали: висота первісного перерізу  $h$ , висота отвору перфорації  $a$ , довжина проміжних перегородок стінки  $w$  та опорної перегородки  $w_{end}$ , довжина синусоїдальної частини  $s$  та крок отворів перфорації  $e$ . При дослідженні висота отвору була обмежена трьома показниками з наступними параметрами:  $a = 0,8h; 1,1h; 1,4h$ , а довжина синусоїдальної частини –  $s = 1w; 2w; 3w$ .

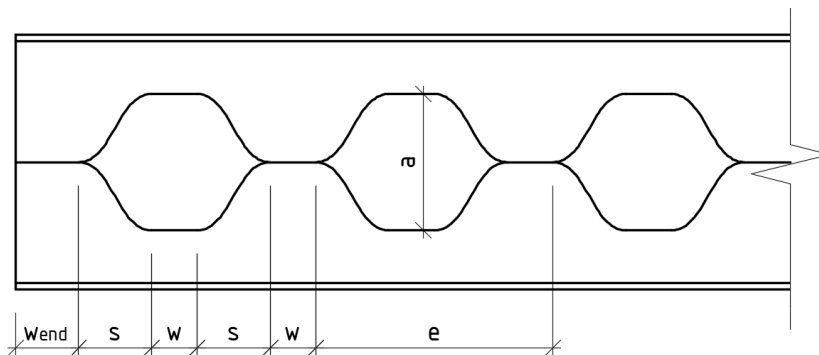


Рис. 1 – Геометричні параметри синусоїдального отвору в стінці балки

При дослідженнях була використана прокатна двотаврова балка типу UB (universal beam) європейського (британського) сортаменту з паралельними полицями, а саме переріз UB 610×178×92 (EN 10034), довжиною 24 м і з розподіленим навантаженням  $q = 5,5$  кН/м; опирання конструкції – шарнірне. За таких умов було досліджено 9 видів балок, для кращого розуміння вони були промарковані наступним чином – UB.(a/h).(s/w).

Першою була створена балка UB.08.1, де висота отвору становить  $a = 482$  мм, крок отворів  $e = 530,4$  мм,  $s = w = 132,6$  мм, кількість отворів  $n = 45$  (рис. 2). Таким самим чином було виконано 8 інших балок. Результати досліджень їх НДС наведені в таблиці 1.

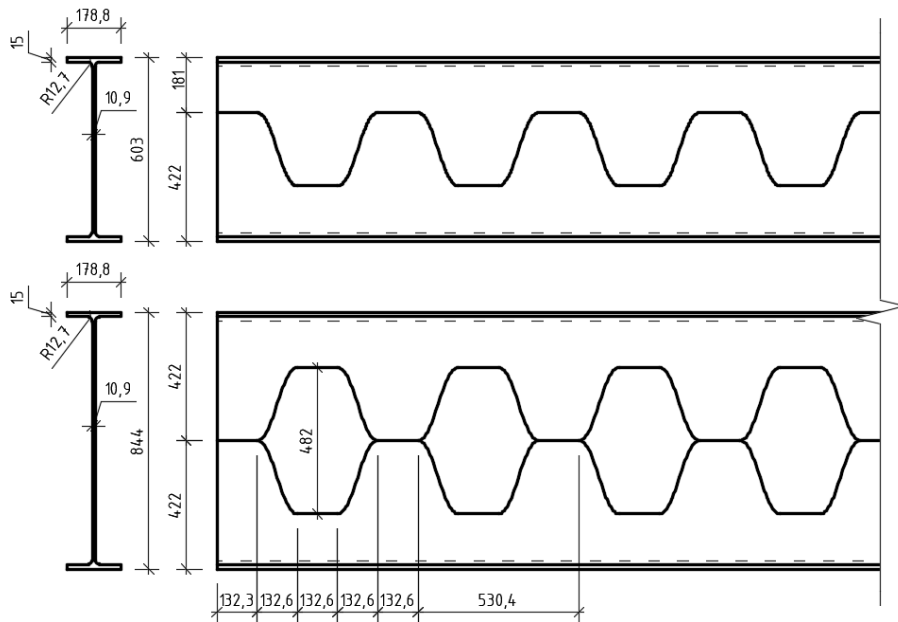


Рис. 2 – Метод створення та геометричні параметри балки UB.08.1

Таблиця 1 – Результати дослідження НДС балки з синусоїдальною перфорацією

Марка балки	$a$ , мм	$s$ , мм	$w$ , мм	$e$ , мм	$s/w$	$e/a$	Прогин мм	Еквівалентні напруження, МПа	
								Макс.	Сер.
UB.08.1	482,0	132,6	132,6	530,4	1	1,1	105,16	208,64	71,67
UB.08.2	482,0	265,2	132,6	795,6	2	1,6	104,22	170,68	72,89
UB.08.3	482,0	406,8	135,6	1 084,8	3	2,2	104,17	163,52	73,34
UB.11.1	662,0	132,6	132,6	530,4	1	0,8	90,19	218,00	66,63
UB.11.2	662,0	265,2	132,6	795,6	2	1,2	88,46	223,42	67,34
UB.11.3	662,0	406,8	135,6	1 084,8	3	1,6	87,96	209,15	67,15
UB.14.1	844,0	132,6	132,6	530,4	1	0,6	82,62	295,80	63,68
UB.14.2	844,0	265,2	132,6	795,6	2	0,9	80,00	273,29	63,29
UB.14.3	844,0	406,8	135,6	1 084,8	3	1,3	79,06	268,77	63,10

З отриманих результатів можна зробити висновок, що для зменшення напружень на кромці отвору перфорації, потрібно збільшити довжину синусоїдальної частини, таким чином максимальні напруження стануть меншими на 10-20%. Для мінімізації прогинів балки на 20-30%, потрібно збільшувати висоту отвору відносно висоти первісного перерізу балки.

### Список посилань

1. Pidgurskyi I., Slobodian V., Bykiv D., Pidgurskyi M. (2021) Investigation of the stress-strain state of beams with different types of web perforation. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 103, no 3, pp. 79–87.
2. Pidgurskyi M., Pidgurskyi I., Stashkiv M., Ihnatieva V., Danylchynko S., Bykiv D., Pidluzhnyi O. (2023) Peculiarities of studying the stress-strain state of structural steel perforated beams using the finite element method. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, pp. 126–138.
3. Kumbhar, P.D., & Jamadar, A.M. (2015). OPTIMIZATION OF OPENING SIZE FOR CASTELLATED BEAM WITH SINUSOIDAL OPENINGS. Iran University of Science & Technology, 5, pp. 301-313.

УДК [624.94:624.012.45]:69.059.7

Корзаченко М.М., канд. техн. наук  
Олексієнко С.В., канд. техн. наук, доцент  
Прибитько І.О., канд. техн. наук, доцент  
Ющенко С. М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», kaf\_tzb@stu.cn.ua

## ВІДНОВЛЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСНИХ СПОРУД

В якості об'єкта дослідження розглянуто будівлі «Чернігівського професійного будівельного ліцею», збудовані в 1986 році, зокрема учбовий корпус та майстерні. Будівля учбового корпусу трьохповерхова, каркасна з сіткою колон 6×6 м, загальні розміри 48×48 м, висота поверхів 3,3 та 8,6 м. Будівля майстерні двоповерхова, каркасна з сіткою колон 6×6 м, розмірами 18×66 м, висота поверху 4,2 м. Колони будівель збірні залізобетонні, ригелі – збірні залізобетонні таврового перерізу з полицею внизу, плити перекриття – збірні залізобетонні багатопустотні, збірні залізобетонні ребристі. Зовнішні стіни з навісних панелей з ніздрюватого бетону, міжвіконні тришарові панелі з азбестоцементних листів і мінераловатною плитою між ними та з цегли глиняної, звичайної повнотілої та силікатної.

Дослідження проведено у три етапи:

1 етап включав вивчення наявної документації, збір вихідних даних.

2 етап включав обстеження об'єкта, зокрема візуальні спостереження, контроль геометричних розмірів, відхилення від проектних положень конструкцій, виявлення дефектів і фотофіксація пошкоджень.

На 3 етапі розглянуто можливі варіанти підсилення пошкоджених елементів, виконано перевірочні розрахунки, складено креслення підсилення та надано рекомендації по проведенню відновлювальних робіт.

Під час обстеження виявлено ряд пошкоджень, які виникли внаслідок воєнних дій:

- наявні вертикальні тріщини окремих ригелів (рис. 1);
- частково пошкоджені колони;
- порушені примикання стінових панелей до колон;
- часткове пошкодження ребристих плит;
- руйнування окремих перегородок;
- пошкодження даху та покрівлі;
- пошкодження фасаду у вигляді тріщин в плитах;
- пошкоджені вікна та двері.



Рис. 1 – Пошкодження ригеля: а – загальний вид ригеля; б – тріщина, що виникла внаслідок воєнних дій

При виявленні суттєвих дефектів залізобетонних конструкцій необхідно виконувати перевірочні розрахунки, на основі яких встановлювати придатність конструкцій до подальшої експлуатації, необхідність підсилення, зниження експлуатаційного навантаження або їх повну непридатність до експлуатації. Розрахунки виконують за реальною розрахунковою схемою, яка повинна включати фактичні умови спирання конструкцій, податливість опорних закріплень, характер та умови з'єднання конструкцій.

Перевірочні розрахунки залізобетонних конструкцій виконують у відповідності до чинних нормативних документів: ДБН В.2.6-98 [1] та ДСТУ Б В.2.6-156 [2].

Розрахунок конструкцій за другою граничною групою граничних станів може не проводитися, якщо виявлені при обстеженні прогини та ширина розкриття тріщин не перевищують гранично допустимих, а фактичні максимально можливі навантаження на конструкцію не перевищують діючих, на момент обстеження [3, с. 500].

При необхідності виконання ремонтних робіт або реконструкції необхідно опрацьовувати різні варіанти таких робіт (рис. 2).

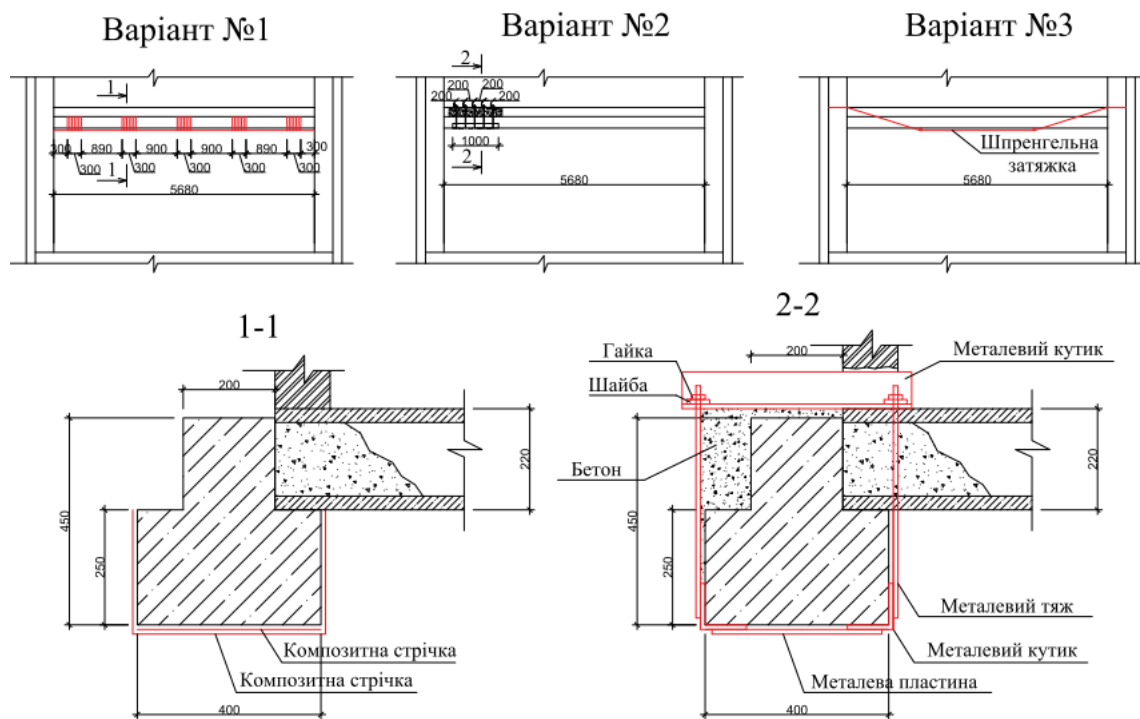


Рис. 2 – Варіанти підсилення ригеля: варіант №1 – підсилення геотекстилем; варіант №2 – підсилення металевою обоймою; варіант №3 – підсилення шпренгельною затяжкою

Остаточний варіант прийнятого методу підсилення обирається на основі технічних та економічних обрахунків.

### Список посилань

1. ДБН В.2.6-98:2009. Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Конструкції будинків і споруд. Основні положення. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

3. Архітектура будівель і споруд. Книга 4. Технічна експлуатація та реконструкція будівель: Підручник-довідник / В. О. Плоский, Г. В. Гетун, В. Л. Мартинов [та ін.] ; за ред. Г. В. Гетун. – Кам'янець-Подільський : Рута, 2018. – 750 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

Білик А.С., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ,  
управління інноваційних проєктів ЦВНУ ГШ ЗСУ, [artem.bilyk@gmail.com](mailto:artem.bilyk@gmail.com)

## ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ РОЗТАШУВАННІ ЗГІДНО ДЕРЖАВНОЇ КОНЦЕПЦІЇ «КРАЇНА-ФОРТЕЦЯ»

Захист критичної інфраструктури є важливою державною задачею [1, 2, 3, 4]. При підтримці держави було розроблено концепцію «Країна-фортеця», реалізація якої спрямована забезпечення інтегрального захисту території України, національних інтересів, громад, спільнот, об'єктів, громадян та систем [1, 2, 3, 4]. У практичній площині це означає, насамперед, стійкість систем державного та воєнного управління, життєзабезпечення, укриття об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ), цивільний захист, безпеку міського середовища тощо. Щодо інженерного захисту концепція розглядає передусім ОКІ.

У напрямку удосконалення концепції захисту ОКІ проаналізовані тактико-технічні характеристики (ТТХ) засобів повітряного нападу (ЗПН) [2, 3, 4, 5]. Встановлено основні характеристики ЗПН: швидкість в момент влучання, маса в момент влучання, маса бойової частини (БЧ) і маса вибухової речовини (ВР), конструкція БЧ [2, 3, 4, 5]. Розроблено методологічний підхід для визначення основних дій на споруди інженерного захисту (СІЗ) при прямих влучаннях ЗПН типу ракет. Запропоновані принципи параметри конструктивного рішення композитної багатошарової конструкції підземної СІЗ. Взаємодія ракети і СІЗ характеризується в основному глибиною і часом проникнення БЧ, імпульсом динамічного навантаження, величиною деформації БЧ. Проаналізовано і розглянуто понад 20 основних сучасних методологічних підходів [6,7,8,9,10] розрахунку проникнення ЗПН у залізобетонну товщу СІЗ. Однією із найбільш універсальних визначена методика NDRC [6], яка використовується в модифікованому вигляді [7,8,9,10]. В модифікованій методиці враховується міцність бетону і фізико-механічні характеристики оболонки БЧ ЗПН. Проаналізовано також ряд методик розповсюдження ударних хвиль в ґрунті і визначення імпульсного навантаження на конструкцію СІЗ. На ряді об'єктів реалізовано узагальнений методологічний підхід визначення динамічної роботи конструкції СІЗ при імпульсному навантаженні від вибухової ударної хвилі (ВУХ). Проведені науково-дослідні роботи з моделювання ВУХ з метою уточнення дій на конструкції. Проаналізовані і визначенні основні тенденції вдосконалення конструктивних рішень СІЗ [2,11,12,13]. Проведені дослідження для забезпечення підвищеної надійності і живучості конструкцій при різних діях [14].

### Список літератури:

1. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 р. № 1882-ІХ: станом на 05.12.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>.
2. Kotsiuruba, V., Bilyk A., Vzot, V., & Dzeverin, I. (2023). Захист об'єктів критичної інфраструктури України від прямих влучань ракет за допомогою підземного розташування. *Ядерна та радіаційна безпека*, (2(98)), 69-79.
3. Коцюруба В.І. Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від бпла типу баражуючий босприпас / В.І.Коцюруба, А.С.Білик, А.О.Веретнов, Г.С.Гайдарли, Р.М.Борта, Б.І. Тертиський Б.І. // Опір матеріалів і теорія споруд/*Strength of Materials and Theory of Structures*. - 2022. - № 109 – с. 164-183. Режим доступу [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-109/14-09\\_kocyruba\\_v.i.\\_bilyk\\_a.s.\\_veretnov\\_a.o.\\_gaydarli\\_g.s.\\_borta\\_r.m.\\_tertishny\\_b.i.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-109/14-09_kocyruba_v.i._bilyk_a.s._veretnov_a.o._gaydarli_g.s._borta_r.m._tertishny_b.i.pdf)
4. Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України / Коваль М.В., Коваль В.В., Коцюруба В.І., Білик А.С. // *Наука і оборона* /2023

5. Зброя Російсько-української війни 2022-2023 років: довідник каталог основних зразків озброєння та військової техніки, які застосовувались протиборчими сторонами під час відсічі широкомасштабного вторгнення РФ в Україну (24.02.2022 –30.06.2023) /Міністерство оборони України, апарат Головнокомандуючого Збройних Сил України Генеральний штаб Збройних Сил України, Центр дослідження воєнної історії Збройних Сил України – Київ: Видавництво Ліра, 2023-К, 2023.

6. NDRC. Effects of impact and explosion. Summary Technical Report Division 2, 1, National Defence Research Committee, Washington, DC, 1946. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD0221586.pdf>

7. Amirikian A, 1950. Design of protective structures. Report NT-3726, Bureau of Yards and Docks, Department of the Navy.

8. Kennedy, R.P. A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects. Nucl. Eng. Design, 1976, 37, 183-203. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(76\)90015-7](https://doi.org/10.1016/0029-5493(76)90015-7)

9. Kar, A.K. (1978) Local Effects of Tornado-Generated Missiles. Journal of the Structural Division, 104, 809-816. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JSDEAG.0004915>

10. Zhang a, V.P.W. Shim b, G. Lu a, C.W. Chew a Resistance of high-strength concrete to projectile impact International Journal of Impact Engineeringhttps: Volume 31, Issue 7, August 2005, Pages 825-841//doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2004.04.009

11. Shashwat Kapoor a 1, Sonalisa Ray a 2, Jagdish Prasad Sahoo b 2, Yugal Kishor Joshi c 3 Optimization of multi-layered composites against ballistic impact: A mesoscale approach Composite Structures. Volume 338, 15 June 2024, 118097 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822324002253>

12. Jianzhong Lai, Jiehang Zhou, Xuexiang Yin, Xiaobo Zheng Dynamic behavior of functional graded cementitious composite under the coupling of high speed penetration and explosion Composite Structures. Volume 274, 15 October 2021, 114326. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114326>

13. Anna L. Mina Michael F. Petrou Konstantinos G. Trezos Resistance of an Optimized Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete to Projectile Impact Buildings. Building Materials, and Repair & Renovation 2021, 11(2), 63; <https://doi.org/10.3390/buildings11020063>

14. Mykhailo Daurov, Artem Bilyk. Investigation of changes in steel frames stress state in fire and influence on its vitality// Strength of materials and theory of structures. 2022. Issue. 108. pp.325-336. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.325-336>

УДК 519.6:504.054:620.9

**Біляєв М.М., докт. техн. наук, професор**  
**Козачина В.В., аспірантка**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,  
[tsurkanvaleri1997@gmail.com](mailto:tsurkanvaleri1997@gmail.com)

## **ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДРЕНАЖУ НА ПІДТОПЛЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ**

Підтоплення території – проблема, що характерна для багатьох регіонів України. Причиною підтоплення є нераціональне зрошення, будівництво, природні процеси та інші фактори, що приводять до зміни гідрологічного режиму.

Для зниження рівня ґрунтових вод використовуються різного роду дренажі. Розрахунок роботи дренажу здійснюється на базі емпіричних або аналітичних моделей. Використання таких моделей дає можливість швидко визначити ефективність роботи дренажної системи. Але моделі даних груп орієнтовані на розв'язання досить спрощених задач, оскільки при їх побудові робляться значні допущення (наприклад, ґрунт у водоносному шарі – однорідний і т.д.). Для отримання більш детальної інформації потрібно використовувати математичні моделі, що базуються на фундаментальних рівняннях гідродинаміки та масопереносу. В роботі розглядаються чисельні моделі, що побудовані шляхом використання кінцево-різницевої схем для інтегрування рівняння фільтрації для безнапірного потоку ґрунтових

вод та рівняння геоміграції. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються схеми розщеплення.

На базі побудованих чисельних моделей розроблено пакет комп'ютерних програм (код). Особливістю даного пакета програм є:

1. Можливість проводити розрахунок динаміки ґрунтових вод та процесу геоміграції в областях, де працює дренаж.
2. Можливість здійснювати оцінювання ефективності роботи дренажу на територіях, де є забудова.
3. Можливість моделювання динаміки ґрунтових вод та процесу геоміграції при зміні з часом коефіцієнта фільтрації.
4. Можливість визначати зони, де може бути суфозія ґрунту при роботі дренажу.

Для практичного використання розроблених кодів, в якості початкових даних, береться типова інформація по об'єкту: коефіцієнти фільтрації, рівні ґрунтових вод, вид дренажу, розташування дренажу, режим роботи дренажу тощо.

Час розв'язання задачі по визначенню динаміки ґрунтових вод, геоміграції, аналізу ефективності роботи дренажних систем складає 5 сек.

#### Список посилань

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016 Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2017. 135 с.
2. Ковальчук П.І., Шевчук С. А. Методика оцінки та прийняття рішень для захисту територій від підтоплення та затоплення. К., 2010. 43 с.
3. Кремез, В. С. Моделювання процесу підтоплення територій в зоні впливу водосховищ. В. С. Кремез, Ю. В. Буц, В. А. Цимбал. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012. № 1–2. С. 128–130.
4. Щербак, О. В. Моделювання гідрогеофільтраційного поля ґрунтових вод у зоні впливу металургійного виробництва. О. В. Щербак, Є. О. Яковлев, В. В. Долін. Мінеральні ресурси України. 2018. № 3. С. 19–25. <https://doi.org/10.31996/mru.2018.3.19-25>.
5. Cashman, P.M., Preene, M. Groundwater lowering in construction: a practical guide to dewatering. Hoboken, NJ: CRC Press, 2012. 665 p. <https://doi.org/10.1201/9781003050025>.

**СЕКЦІЯ 7**  
**РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА**  
**РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕЛЕКТРОНІКА. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,**  
**ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

УДК 621.313

**Шинкаренко В.Ф., докт. техн. наук, професор**  
**Шиманська А.А., канд. техн. наук, доцент**  
**Котлярова В.В., ст. викладач**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[ntuukafem@ukr.net](mailto:ntuukafem@ukr.net)

**ІННОВАЦІЙНІ ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ**

В умовах радикального реформування системи вищої освіти, важливого значення набуває проблема збереження і подальшого розвитку досягнень науки і освітніх технологій, започаткованих і напрацьованих провідними науковими школами університетів України. Лише власні наукові досягнення і досвід, апробовані і адаптовані до специфічних для системи освіти викликів, визначають рівень освіченості нації, здатність здобувачів освітніх послуг виробляти і реалізовувати інноваційні знання та технології. Матеріали доповіді, які підготовлено до обговорення в форматі «круглого столу», узагальнюють основні напрями і результати розробок та практичної реалізації методології системно-генетичних досліджень, які використовуються в КПІ імені Ігоря Сікорського за освітнім напрямом «Електрична інженерія».

Фундаментальні принципи генетичної організації і еволюції мають системну природу і давно вийшли за межі суто біологічних дисциплін. За останні півстоліття системна генетика перетворилася на потужний інструментарій дослідження складних систем різної фізичної природи, які узагальнюються поняттям генетично організованих систем (ГОС). Відправною подією виникнення нового напрямку структурно-системних досліджень, стало відкриття періодичної структури генетичної класифікації (ГК) первинних джерел електромагнітного поля, яка виконує функцію універсальної наукової платформи для організації фундаментальних досліджень, формування нових наукових напрямів та розробки інноваційних освітніх технологій [1].

**Технологія генетичного передбачення.** В системах антропогенного походження технологія передбачення має дуальну генетичну природу [2]. З одного боку, це здатність до передбачення, яка генетично запрограмована в кожній людині у формі інстинкту пізнання, який реалізується через когнітивні механізми її мислення. З іншого боку, елементно-інформаційний базис, аксіоматику і генетично допустиму структурну різноманітність об'єктів, природа закодувала в структурі генетичних програм відповідної ГОС, визначення яких може бути здійснено лише інтелектом людини за результатами генетичного аналізу ГК.

За результатами аналізу інваріантних властивостей періодичної структури ГК і методології горизонтального (міждисциплінарного) обміну знань, за відносно короткий період, в електромеханіці відкрито:

- принципи збереження електромагнітної симетрії, топології і генетичної інформації первинних джерел електромагнітного поля, які визначають структуру груп, підгруп і періодів ГК, а також системні властивості і таксономію ЕМ-об'єктів – нащадків;
- явище ізопопії первинних джерел поля, що дозволило: науково пояснити її взаємозв'язок з еволюцією видів і ЕМ-об'єктів – близнюків; створити графічні ГБД джерел-ізопопів; визначити їх генетичні програми та здійснити синтез перших у світі ЕМ-об'єктів – близнюків за їх генетичними кодами;



- горизонтальні гомологічні ряди, що дозволило розробити методи передбачення і синтезу структур довільного ряду за наявності лише одного його структурного представника; розробити ефективні методи структурного передбачення та інноваційного синтезу нових ЕМ-структур, на основі закону гомологічних рядів;
- принцип парності електромагнітних структур, що дозволило науково обґрунтувати принципи структуроутворення об'єктів і Видів – двійників; розробити методи і алгоритми синтезу двійникових гібридних структур;
- явище структурної і просторової ізомерії, що дозволило пояснити генетичну природу а також розробити моделі і методи генетичного синтезу багатоеlementних просторових композицій з  $N$  однотипних (модульних) елементів;
- ефект генетичної пам'яті електромагнітних і електромеханічних об'єктів, з використанням якого розроблено методологію ідентифікації генетичних програм довільних функціональних класів ЕМ-об'єктів за інформацією лише їх довільного представника;
- закон гібридизації електромеханічних структур, на основі якого вперше визначено співвідношення і кількісний склад генетично допустимих класів гібридних ЕМ-об'єктів і генетично допустимої кількості гібридних Видів, включаючи як відомі, так і потенційно можливі, але ще відсутні на даний час еволюції електромеханіки;
- новий вид структурних мутацій міжродового рівня, з використанням яких здійснено передбачення і синтез принципово нових ЕМ-об'єктів, наділених можливістю структурної і просторової адаптації активної зони.

**Освітні компоненти типу «відкриття систем».** Методологія постановки і розв'язання багаторівневих задач типу «відкриття систем» - новітній напрям в інноваційній освітній методології, який інтегрує методи структурно-системного аналізу багаторівневих генетичних програм, технологію системно-генетичного передбачення з когнітивним простором дослідника, кінцевим результатом якого є гарантоване відкриття і запуск в технічну еволюцію нових систем (на рівні популяцій, Видів або гомологічних рядів) ЕМ-об'єктів.

Потенційним джерелом генетичного структуроутворення в структурі довільних ГОС є неясні Види, як майбутні системи, представники яких ще відсутні на поточний час технічної еволюції, а їх відкриття і введення в еволюцію становить новий, актуальний напрям структурно-системних досліджень та інноваційних розробок.

Результати синтезу і технічна реалізація першого об'єкта за генетичним кодом неясного Виду, одночасно супроводжується зміною його еволюційного статусу, тобто його переходом з категорії неясних до категорії реально-інформаційних, що еквівалентно відкриттю і введенню в еволюцію нового Виду. Одночасно змінюється і співвідношення між кількістю неясних і реально-інформаційних Видів в макrogenетичних програмах відповідних функціональних класів ЕМ-систем. Процедура генетичного синтезу ЕМ-об'єкта за інформацією неясного Виду виконує функцію тригера в механізмах «запуску» багаторівневого еволюційного процесу, який одночасно відбувається на об'єктному (еволюція технічних рішень), видовому (внутрішньовидова мікроеволюція) та макроеволюційному (функціональних класів) рівнях (рис. 1).

За відносно короткий період, за участю студентів і аспірантів кафедри електромеханіки КПІ ім. Ігоря Сікорського, за дослідницькими програмами індивідуальних траєкторій досліджень, цілеспрямовано введено в технічну еволюцію 16 нових ЕМ-об'єктів, які є представниками 12 Видів (з врахуванням Видів – близнюків підгрупи 0.2у), які ще донедавна мали статус неясних. Методологія розв'язання завдань обраної здобувачем освітньої траєкторії визначається методами системно-генетичного моделювання, генетичного аналізу і синтезу, методами таксономії, постановкою еволюційних експериментів з розробкою і патентуванням оригінальних технічних рішень. Результати досліджень узагальнюються у вигляді завершених робіт відповідного рівня: курсових,

дипломних та міждисциплінарних проєктів; магістерських дисертацій, дисертацій PhD, конкурсних наукових робіт, тощо.

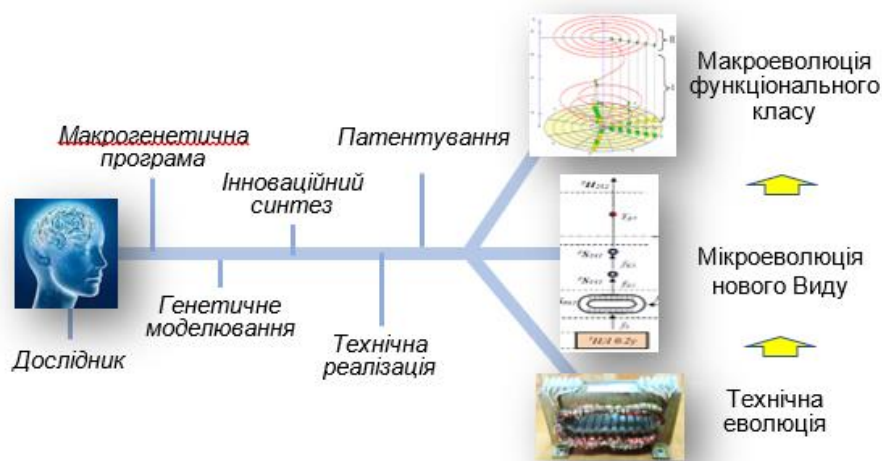


Рис. 1 – Схема «запуску» багаторівневого еволюційного процесу за сценарієм «відкриття нового Виду» ЕМ-систем.

**Освітня модульна платформа SEM.** В основу концепції модульної платформи System electromechanics (SEM) покладено ідею створення інноваційного освітнього середовища на основі інтеграції прогностичного потенціалу макро- і мікрогенетичних програм структуроутворення довільних класів ЕМ-об'єктів, сучасних цифрових технологій передачі, обробки та збереження інформації, адаптивно-модульного принципу організації фізичного експерименту і когнітивного простору дослідника [3]. В концепції адаптивної освіти, модульна платформа SEM створює умови для організації і забезпечення навчального середовища, з можливістю адаптації навчальних траєкторій інноваційного спрямування за відповідними освітніми програмами підготовки магістрів і докторів філософії.

Аналіз результатів синтезу структур, процедури їх адаптації і подальшого вибору об'єкта дослідження (ОД) здійснюється за безпосередньою участю дослідника ( $R_G \cup R_C \rightarrow R_{GC}$ ). Слід зазначити, що взаємодія просторів  $R_G \cup R_C$  також визначає сутність технології генетичного передбачення. Завершальний етап дослідницької траєкторії реалізується в межах фізичного адаптивного простору  $R_P$  з використанням Smart – стенду шляхом формування типу і модульної структури ОД і його експериментальних досліджень, які теж здійснюються за безпосередньою участю дослідника ( $R_C \cup R_P \rightarrow R_{CP}$ ). Інтеграція інтелектуально-адаптивних просторів  $R_G, R_C$  з варіативним фізичним простором  $R_P$ , забезпечує наукову новизну і гарантований інноваційний ефект індивідуальної освітньої траєкторії дослідника в конв'єргентному освітньому просторі  $R_\Sigma$  (рис. 2). Діяльність усіх учасників дослідницького експерименту відбувається у змішаній (конв'єргентній) реальності, за умови безпосередньої взаємодії освітніх просторів інтелектуального структуроутворення з використанням віртуальної, когнітивної, та фізичної складових освітнього процесу.

**Трансдисциплінарні дослідження.** Сьогодні трансдисциплінарні освітні програми активно впроваджуються країнами Європейського простору вищої освіти. Переважна більшість експертів розглядає трансдисциплінарність як ключову концепцію зміни парадигми у виробництві знань, основу якої визначає принцип поєднання наукової достовірності з суспільною значимістю.

Виходячи з основної ідеї трансдисциплінарності, стає очевидним, що наукова теорія, яка претендує на роль домінуючої, по своїй суті, має бути наддисциплінарною, з власним методологічним базисом, інваріантним до фізичної природи систем, часу еволюції, рівня

складності та їх функціонування. Зазначеним вимогам задовольняє системно генетична парадигма – новітня галузь знань, що вивчає принципи спадковості і структурно-інформаційної мінливості в коеволюції ГОС різної фізичної природи [4].

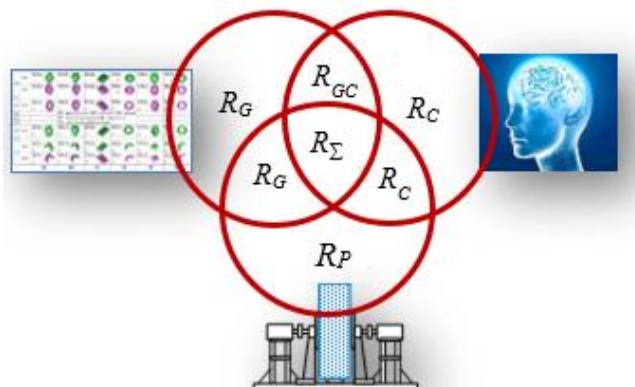


Рис. 2 – Конвергенція просторів інноваційного структуроутворення в концепції платформи SEM:  $R_G$  – генетичний;  $R_C$  – когнітивний;  $R_P$  – фізичний;  $R_Σ$  – конвергентний.

Проблема пізнання системних закономірностей полягає в тому, що в межах міждисциплінарного підходу вони розглядаються і аналізуються як окремі принципи або явища, в той час як в концепції системно-генетичної парадигми вони виступають як невід’ємні і взаємопов’язані складові еволюції ГОС відповідної фізичної природи. Саме цим зумовлені принципи відмінності дисциплінарного і трансдисциплінарного методологічних підходів, які наглядно ілюструються на прикладі порівняльного аналізу двох віддалених дисциплін – біології (природнича дисципліна) і електромеханіки (одна з численних технічних дисциплін).

В організації трансдисциплінарних досліджень ГОС, важливе значення має принцип горизонтального перенесення генетичної інформації, за результатами аналізу якого науково доказана генетична ідентичність структуроутворення механічних і електромагнітних структур, а також відкрита періодичність і ідентичність структури універсальних генетичних кодів в системі натуральних чисел.

Системно-генетична методологія вперше відкрила можливість організації досліджень на міждисциплінарному та трансдисциплінарному рівнях: «Електромеханіка – механіка»; «Електромеханіка – біологія», «Електромеханіка – система натуральних чисел»; «Електромеханіка – топологія», «Електромеханіка–хімія», та ін. Це відкриває можливість здійснення переходу від вузькодисциплінарних завдань аналізу і синтезу на рівні окремих технічних об’єктів до стратегії системного керування знаннями та інноваціями з виходом на рівень організації трансдисциплінарних досліджень складних технічних систем з компонентами різної фізичної і генетичної природи.

#### Список посилань

1. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
2. Шинкаренко В.Ф. Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем. / В.Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Вип. 11. – том 4. – 2011. – С. 3 – 19.
3. V. Shynkarenko, P. Krasovskiy, A. Shymanska and V. Kotliarova. "System Electromechanics Adaptive Modular Platform Concept for Research on Electric Machines and Electromechanical Devices," 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-6, doi:10.1109/MEES61502.2023.10402397
4. Шинкаренко В.Ф. Організація і методологія трансдисциплінарних досліджень в науці і технічній освіті. / В.Ф. Шинкаренко // Зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-метод. конф. «Сучасна освіта – доступність, якість, визнання». Краматорськ – Тернопіль, 09 – 11 листопада 2022 р. – с. 208-213.

УДК 621.311.001.57(063)

Закладний О.О., канд. техн. наук, доцент  
Пухальський С.В., студент 3 курсу  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», zakladniy@gmail.com

## БЕНЧМАРКІНГ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

В сучасному світі не володіння енергоресурсами займають домінуюче місце, а інноваційні технології ефективного використання енергоресурсів, відновлювані джерела енергії, засоби інтелектуалізації системи енергоспоживання. Змінилась філософія конкурентного світу: від суспільства безлімітного споживання ресурсів – до сталого розвитку, «зеленого переходу», «розумного» енергоспоживання та використання штучного інтелекту. В цих умовах зростає роль підвищення енергоефективності як головного чинника, який тягне за собою модернізацію всього підприємства, підвищення продуктивності виробництва та якості продукції, поліпшення екологічної ситуації. Принцип «Енергоефективність понад усе» повинен стати основною метою при відновленні економіки нашої держави та переході від сировинної моделі розвитку до галузей з високим ступенем переробки.

Найбільший вплив на ефективне використання електроенергії підприємством спричиняє енергоефективність електромеханічної системи (ЕМС) як основного споживача. Інтелектуалізація споживання електричної енергії передбачає здійснення бенчмаркінгу енергоефективності ЕМС безперервно в реальному часі. На жаль, на сьогодні утвердилась практика оцінювання енергоефективності ЕМС в кращому випадку аперіодично, наприклад, під час проведення енергетичного аудиту. Тому актуальним завданням є створення інтелектуальних систем контролю за ефективністю споживання електроенергії ЕМС та чинників які на них впливають: якості електричної енергії, завантаження обладнання та технічного стану ЕМС. Сучасний розвиток виміральної та обчислювальної техніки дозволяють створювати подібні системи.

Дотепер в енергетичному менеджменті деталізоване управління раціональним використанням енергії не поширювалося на конкретного технологічного споживача, його режими роботи. В першу чергу розглядалось підприємство в цілому або окрема технологічна лінія. Приймались до уваги загальні показники по підприємству - питомі витрати енергоресурсів на виробництво товарів або надання послуг. Контроль конкретного обладнання, наприклад, ЕМС, не був постійним і безперервним та відбувався за фактом аварійної ситуації, а не в реальному часі, коли неефективне споживання електроенергії мало місце значний проміжок часу.

Останніми роками енергетичний менеджмент набув нових задач, а саме, – він став поширюватися на кінцевого споживача. Це є сучасним підходом у методології енергетичного менеджменту – запроваджується високий ступінь деталізації, бенчмаркінг енергетичної ефективності ЕМС і, відповідно, – оперативне реагування на погіршення енергоефективності. Мета полягає у забезпеченні енергоефективної роботи кожної окремої одиниці обладнання в реальному часі. Ці нові завдання пов'язані з постійним суттєвим удорожчанням електричної енергії, коли основна складова вартості життєвого циклу ЕМС – витрати на електричну енергію – становлять в середньому 85 % від усіх витрат за термін експлуатації [1]. Розв'язати такі задачі можна лише шляхом охоплення споживачів електроенергії сучасними засобами інтелектуалізації: цифровими давачами струму, напруги, технологічних параметрів виробництва, мікроконтролерів, потужними робочими станціями для збору та обробки інформації з використанням можливостей штучного інтелекту, сучасного спеціалізованого програмного забезпечення.

Реальне споживання енергії завжди відрізняється від “ідеального”. Контроль та оцінка вказаних розходжень між розрахунковим, планованим (за яке приймається, наприклад, кращі результати в галузі) та фактичним споживанням енергії і є головним завданням бенчмаркінгу енергоефективності ЕМС. Сам собою бенчмаркінг не економить енергію, але з його допомогою енергетичний менеджер може визначити, де і коли слід вжити коригуючих дій для усунення неефективного її використання. Такий підхід дозволяє оцінювати енергетичний стан ЕМС на всіх етапах її життєвого циклу – від введення в експлуатацію до списання.

Використання засобів бенчмаркінгу енергоефективності ЕМС як технічного інструменту стандарту ISO 50001:2020 спрощує включення енергоменеджменту до інтегрованої системи менеджменту з підвищення якості та безпеки продукції, екологічного менеджменту та менеджменту професійної безпеки і здоров'я персоналу.

Для бенчмаркінгу енергоефективності ЕМС застосовуються енергетичні критерії – енергія, яка споживається з мережі за цикл роботи, питомі витрати енергії на одиницю продукції та сумарні втрати енергії. В деяких випадках застосовуються критерій максимального ККД, оптимального імпедансу тощо. Однак не існує загальноприйнятого критерію енергоефективної роботи ЕМС [1].

Оцінювання та бенчмаркінг енергоефективності ЕМС є комплексним завданням з великою кількістю характеристик і факторів, які на неї впливають. Основним показником ефективності роботи в енергетичному аспекті вважається ККД системи в цілому. Однак для комплексної оцінки енергоефективності важливі також коефіцієнт потужності, електроенергія, яка споживається протягом життєвого циклу, і значення складових втрат.

Процес ефективного використання енергії ЕМС визначається двома основними складниками: енергоспоживання та енерговикористання (перетворення) спожитої енергії, що відповідає концептуальному представленню терміну «рівень енергоефективності» у стандарті ISO 50001:2020.

Необхідно використовувати показники енергоефективності – ККД та коефіцієнт потужності для визначення енергетичного і технічного стану ЕМС з урахуванням впливаючих факторів. Визначення стану ЕМС здійснюється порівнянням фактичних параметрів з їх еталонними значеннями, тобто, шляхом бенчмаркінгу та порівняння індикаторів енергоефективності з енергетичною базовою лінією.

Перспективним підходом методології енергоменеджменту є впровадження постійно діючого контролю стану ЕМС на основі бенчмаркінгу енергоефективності для оперативного реагування на збільшення електроспоживання, погіршення технічного стану і порушення технологічного режиму. Оптимізація електроспоживання ЕМС, прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої їх експлуатації шляхом виявлення неекономічних, неефективних, аварійних режимів роботи, прихованих дефектів засобами діагностування енергоефективності передбачає: наявність інформації про струми й напруги електропривода ЕМС, розрахунок параметрів за діагностичними й еталонними моделями в режимі реального часу; виявлення відхилень діагностичних параметрів від встановлених; визначення технічного, енергетичного й теплового стану.

**Висновки.** Методи та засоби бенчмаркінгу енергоефективності дозволяють впровадити сучасні інформаційні smart-технології у систему енергетичного менеджменту підприємства та автоматизувати виконання таких складових стандарту ISO 50001:2020, як встановлення енергетичної базової лінії, індикаторів енергоефективності, здійснення моніторингу та необхідних вимірювань для визначення рівня енергоефективності, проведення енергоаналізу, енергопланування та формування технічних звітів тощо.

#### Список посилань

1. Закладний О.О. Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем: Монографія / О.О. Закладний. – К.: Видавництво «Лібра», 2013. – 195 с.

УДК 622.271

Григор'єв Ю.І., канд. техн. наук, доцент  
Куроп'ятник І.П., магістрант  
Криворізький національний університет, [yulian.hryhoriev@knu.edu.ua](mailto:yulian.hryhoriev@knu.edu.ua)  
Григор'єв І.Є., канд. техн. наук, доцент  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя,  
[ihor.hryhoriev@mipolytech.education](mailto:ihor.hryhoriev@mipolytech.education)

## НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНОГО КЛАСТЕРУ

Ускладнення гірничо-геологічних умов розробки, зміна ціни і попиту на продукцію гірничо-видобувних підприємств, стрімкий розвиток техніки і технологій вимагають швидкої адаптації до змін зовнішнього середовища. Прискорення процесу розробки і прийняття проектних рішень можливо шляхом впровадження підходів динамічного проектування. Даний підхід проектування відкритих гірничих робіт передбачає постійне оновлення та адаптацію проектних рішень відповідно до змінюваних умов роботи кар'єру та зовнішнього середовища [1]. Реалізація концепції динамічного проектування передбачає максимальне використання інформації про об'єкт проектування.

Значний потенціал у обробці великих об'ємів даних вбачається у використанні нейромережових технологій. Побудова предиктивної нейромережової моделі починається зі збору, аналізу та нормалізації вихідних даних для навчання моделі. В результаті ретроспективного аналізу проектних рішень по кар'єрах Кривбасу було зібрано показники діяльності гірничо-видобувних підприємств Кривбасу, починаючи з 1977 по 2007 рік: глибина кар'єрів, вміст корисного компонента у товарній руді, загальні витрати на випуск товарної руди [2]. Наступним кроком вихідні дані були нормалізовані до зіставного виду: усереднено глибини кар'єрів в структурі одного підприємства, витрати переведені в єдину грошову одиницю і приведені до виробничої потужності по роках. В якості середовища для обробки даних було обрано сервіс TensorFlow, що має простий інтерфейс та інтеграцію з відомим онлайн табличним модулятором Google Sheets у вигляді плагіну Simple ML. Отже, нормалізовані дані були завантажені в середовище обраного програмного забезпечення і відфільтровані по підприємствах. Навчання моделі доступне за трьома алгоритмами: Gradient Boosted Trees, Random Forest та Decision Tree. Моделі було побудовано тричі, з використанням кожного з них і всі три моделі показали менше середньоквадратичне відхилення RMSE, ніж базова модель, що дозволяє говорити про реальну предиктивну роботу кожної з трьох моделей. За допомогою отриманої нейромережової моделі було спрогнозовано собівартість видобутку руди при поглибленні гірничих робіт за умови збереження якості товарної продукції на сталому рівні. Так, наприклад, для умов Інгулецького ГЗК при глибині кар'єру 545 м собівартість видобутку руди становитиме 12,7 дол./т.

Результати досліджень можуть бути використані для укрупненої техніко-економічної оцінки проектних рішень як альтернативу існуючим регресійним моделям. Моделювання техніко-економічних показників розробки конкретного родовища власне в процесі проектування дасть змогу підвищити поточність проектних робіт відповідно до концепції динамічного проектування. В подальших дослідженнях планується розширити вихідний датасет новими показниками, зокрема й тими, що накопичуються в режимі реального часу.

### Список посилань

1. Hryhoriev Y. Dominant Determinants of Adaptation of the Mining Complex in the Conditions of a Dynamic Environment / Yulian Hryhoriev, Serhii Lutsenko, Serhii Joukov // Inżynieria Mineralna : journal of the polish mineral engineering society. – Kraków: POTOPEK, 2023. – №1(51). – P. 15 – 22.
2. Луценко С.О. Системні невідповідності за традиційного проектування залізородних кар'єрів / С.О. Луценко, Ю.І. Григор'єв, С.О. Жуков, С.О. Федоренко // Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: КНУ, 2023. – № 111. – С. 11 – 18.

УДК 674-419.33:674.8

Гайда С.В., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [serhiy.hayda@nltu.edu.ua](mailto:serhiy.hayda@nltu.edu.ua)

## ВСТАНОВЛЕННЯ ПОКАЗНИКА ЦИРКУЛЯРНОСТІ В ЛІСОВОМУ СЕКТОРІ

Обґрунтовано, що впровадження циркулярної економіки в лісовий сектор (ЦЕВЛС) є важливим та актуальним, оскільки допомагає зберегти лісові ресурси, сприяючи ефективному використанню матеріалів і зменшенню деревинних залишків, а також відновленню та повторному використанню виробів з деревини. Аналіз стану ЦЕВЛС в процесах лісозаготівлі, виготовлення виробів із первинної сировини та перероблення вживаної деревини (ВЖД) в Україні є важливим показником, що ефективно описує стан сталості економіки та прогнозує кроки для реалізації принципів циркулярної економіки [1-10].

**Методика розрахунку показника циркулярності у лісовому секторі в контексті циркулярної економіки.** Показник циркулярності у лісовому секторі в контексті циркулярної економіки може бути розрахований за допомогою різних методик, залежно від конкретних цілей та доступних даних, зокрема: практичним, тобто реальним, що отриманих за даними облікової звітності; теоретичним, тобто ймовірним, що отриманий за набором принципів циркулярної економіки, зокрема для ієрархії стратегій 10R.

Покрокова процедура підходу до розрахунку практичного показника циркулярності наступна: визначаємо загальні обсяги лісових ресурсів, що використовуються в секторі, включаючи деревину, що використовується для виробництва виробів, а також відходи лісозаготівлі та деревообробки; визначаємо обсяги ВЖД та відходів, що були перероблені або повторно використані у виробництві нових виробів; показник циркулярності ( $P_{Ц}$ ) може бути розрахований як відношення обсягів переробленої або повторно використаної деревини ( $O_{п}$ ) до загальних обсягів використаних лісових ресурсів ( $O_{в}$ ):  $P_{Ц} = O_{п} / O_{в} \times 100\%$ ; вищий показник циркулярності вказує на більш ефективне використання лісових ресурсів та, відповідно, менший негативний вплив на довкілля.

Покрокова процедура підходу до розрахунку теоретичного показника циркулярності за набором принципів ЦЕВЛС для ієрархії стратегій 10R наступна:

1. Аналізуємо стратегії ієрархії 10R циркулярної економіки, зокрема : Refuse; Rethink; Reduce; Reuse; Repair; Repurpose; Remanufacture; Refurbish; Recycle; Recover; Dispose з позицій застосування у лісовому секторі з наданням коротких характеристик.

2. Здійснюємо ранжування стратегій за ступенем важливості принципів ієрархії 10R ЦЕВЛС, зокрема, у вигляді «лійки», де верхні рівні мають вищий пріоритет порівняно з нижніми. Визначено відсоток важливості кожної стратегії за пріоритетністю дій ієрархії 10R для досягнення максимальної циркулярності та сталості, зокрема для визначення показника циркулярності.

3. Формуємо три сценарії для визначення показника циркулярності, щоб зрозуміти ефективну динаміку від найнижчого значення до максимального, оскільки перший рівень характеризує поточну ситуацію з ЦЕВЛС, зокрема у різних сферах діяльності – різних етапах життєвих циклів деревинного ресурсу, зокрема, лісозаготівлі, виробництва виробів та перероблення ВЖД.

4. Визначаємо середньозважені показники циркулярності для сценаріїв, що характеризують ступені ефективності ЦЕВЛС від найнижчого до найвищого, виходячи із задіяної кількості дієздатних стратегій.

**Результати досліджень.** Ієрархія стратегій 10R ЦЕВЛС включає різні підходи до використання ресурсів та управління відходами. У контексті лісового сектору ці стратегії можуть бути розташовані за ступенем важливості, як на рис. 1. Це ранжування відображає пріоритетність заходів, спрямованих на збереження ресурсів та мінімізацію відходів,

починаючи з переосмислення використання ресурсів та закінчуючи утилізацією як останнім варіантом ліквідації деревини.

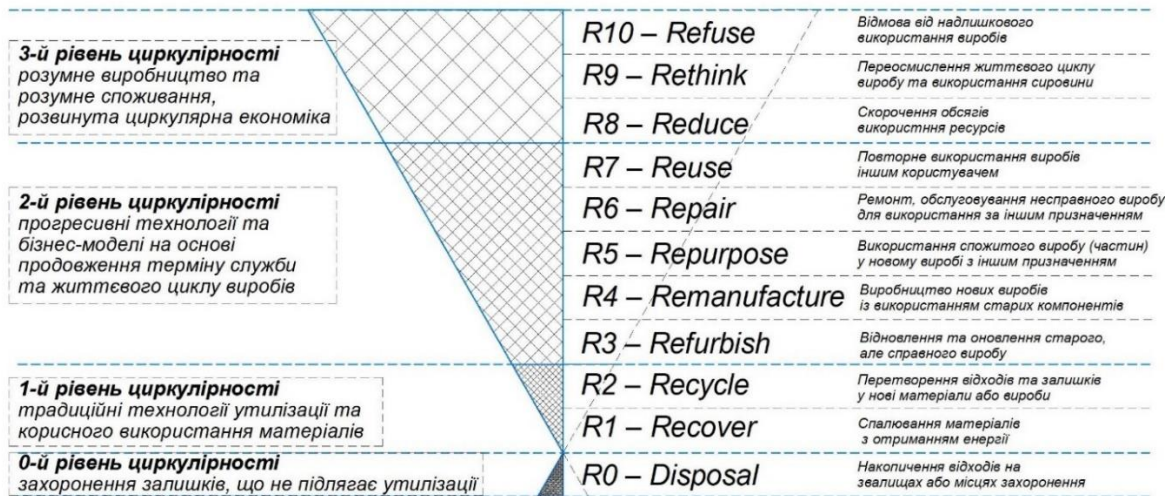


Рис. 1 – Ранжування стратегій циркулярної економіки для ієрархії 10R, де найвища ланка в «лійці» робить найбільший внесок у циркулярну економіку

Проаналізовано та проранжовано стратегії за ступенем важливості принципів ієрархії 10R циркулярної економіки, зокрема, у вигляді «лійки», де верхні рівні мають вищий пріоритет порівняно з нижніми з відповідними стратегіями. Визначено відсоток важливості кожної стратегії за пріоритетністю дій стратегій 10R для досягнення максимальної циркулярності та сталості, зокрема : Refuse (18,72 %); Rethink (17,05 %); Reduce (15,05 %); Reuse (13,05); Repair (11,04 %); Repurpose (9,03 %); Remanufacture (7,03 %); Refurbish (5,02 %); Recycle (3,01 %); Recover (1,00 %); Dispose (0,00 %). Визначено показники циркулярності для сценаріїв: №1 – лісозаготівля 6,02%, виготовлення виробів з деревини 10,03%, перероблення ВЖД 25,09%; №2 – лісозаготівля 26,09%, виготовлення виробів з деревини 43,14%, перероблення ВЖД 61,71%; №3 – лісозаготівля 43,15%, виготовлення виробів 76,24%, перероблення ВЖД 93,15%. Визначено можливі середньозважені показники циркулярності за трьома сценаріями: №1, що характеризує ситуацію у лісовому секторі України і становить 13,71%; №2, що прогнозує ситуацію у найближчі 10-15 років на рівні 43,65%; №3, що прогнозує ситуацію у перспективі до 2050 року на рівні 70,85%.

#### Список посилань

1. Gayda S.V. Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2023. – Vol.49. – P. 99-114, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234908>
2. Gayda S.V. MDF Facade Technologies / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – UNFU, 2018. – Vol.44. – P. 70-83, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
3. Gayda S.V., Kiyko O.A. Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – Vol.5(1(107)). – P. 89-97, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
4. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2014. – Vol.40. – P. 41-51.
5. Gayda S.V. A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2017. – Vol.48. – P. 34-38 (in Russian).
6. Gayda S.V. The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2017. – Vol.43. – P. 58-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>
7. Gayda S.V., Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin / S.V. Gayda, I.V. Petrishak, G.V. Somar // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 5-15, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>



8. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2012. – Vol.38. – P. 112-150.
9. Gayda S.V. Technologies and recommendations on the utilization of post-consumer wood in woodworking industry / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2013. – Vol.39(1). – P. 48-67, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42133909>
10. Gayda S.V. The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Drewno, 2020. – Vol.63(206), 77-102. doi: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>

УДК 550.3

**Ігнатишин В.В., канд. фіз-мат. наук, ст. наук. Співробітник, доцент**  
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Закарпатський угорський  
Інститут ім.Ференца Ракоці II, rgstrs1962@i.ua

**Малицький Д.В., докт. фіз-мат. наук, професор**  
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

**Іжак Т.Й., канд. геогр. наук, доцент,**  
izsak.tibor@kmf.org.ua

**Молнар Д.С.С., канд. геогр. наук, доцент,**  
molnar.d.istvan@kmf.org.ua

**Рац А.Й., канд. геогр. наук, доцент,**  
racz.bela@kmf.org.ua

Закарпатський угорський інститут ім.Ференца Ракоці II

**Купльовський Б.Є., канд. фіз-мат. наук,**  
завідувач відділу сейсмічності Карпатського регіону

**Прокопишин В.І., начальник**  
Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії,  
vskr\_igf@ukr.net,

**Ігнатишин М.Б., провідний інженер, sitkomonika@i.ua**

**Ігнатишин А.В., інженер II категорії, ignatysin\_adalbert@i.ua**

**Олещук О., провідний інженер, olenaoleshuk@gmail.com**  
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

## **ЗВ'ЯЗОК ГЕОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАКАРПАТСЬКОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОГИНУ ТА ВАРІАЦІЙ АСТРОФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЗА 2023 РІК**

На території Закарпаття та прилеглих територіях сусідніх держав щорічно реєструються сотні місцевих землетрусів різного рангу- від слабких, які відмічаються тільки чутливими приладами до сильніших, відчутних населенням краю. На режимних геофізичних станціях проводиться безперервний моніторинг таких геофізичних полів: магнітного поля Землі, радіоактивного фону середовища, електромагнітного поля Землі, метеорологічного стану, гідрологічного та сейсмічного стану середовища. Також слід відмітити, що на території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться унікальні високоточні вимірювання сучасних горизонтальних рухів кори за допомогою кварцових деформометрів, які змонтовані в зоні Оашського глибинного розлому та Берегівського горбогір'я. В [1] показано, що прояви екстремальних значень швидкостей дилатації земної кори на території Європи на протязі досліджуваного періоду в більшості випадків мігрують не залежно від товщини земної кори, а прив'язані до певних тектонічних розломів, шляхи їх міграції досить добре відображають тектонічні рухи плит на території Європи. В[2] виділено територію з високим ступенем кореляції, яка співпадає з сейсмічно активними та гірськими районами Європи, що свідчить про те, що існує взаємозв'язок між вертикальними рухами і сейсмічною активністю. Інтерпретація отриманих в [3] карт дозволяє провести ґрунтовний

аналіз розвитку рельєфу в новітній час, визначити етапність його формування та реконструювати тектонічний розвиток. В [4] висунуто припущення, що місця концентрації епіцентрів землетрусів вишиковуються уздовж зон осьових частин регіональних аномалій електропровідності. Коефіцієнти взаємної кореляції між хвильовими формами повторних землетрусів на одній і тій самій станції залежать від відстані між їхніми вогнищами і спадають експоненціально з її збільшенням [5]. В [6,7] проведено комплексні геофізичні спостереження в зоні Оашського розлому, розглянуто вплив метеорологічних параметрів на сейсmodинамічний стан, відмічено зв'язок геодинамічних параметрів із варіаціями параметрів геофізичних полів. Виконано порівняльний аналіз рядів магнітоваріаційних параметрів для режимної геофізичної станції „Н.Селище” (Закарпатський прогин) та магнітної обсерваторії „Гурбаново” (Західні Карпати) виявлено, що часові зміни параметрів векторів Візе на обох пунктах спостереження мають подібну морфологію [8]. Інформацію про астрофізичні параметри взято із [9-11]. Метою роботи є дослідження зв'язків геодинаміки регіону, що включає в себе сучасні горизонтальні рухи кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, астрофізичних параметрів, а саме сонячної активності та геомагнітного індексу, що відповідає за магнітне поле Землі та їх роль в формуванні екологічного стану регіону. Об'єктом дослідження є зміщення порід в сучасних горизонтальних рухах кори в зоні Оашського глибинного розлому, просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, варіації сонячної активності, геомагнітного індексу. Предметом дослідження є вивчення зв'язків спостережуваних геофізичних та астрофізичних полів, розрахунок їх ступеню кореляції за 2023 рік. Методика дослідження полягає у побудові часових залежностей сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, місцевої сейсмічності, отримані із результатів спостереження на пункті деформометричних спостережень в с. Королеве, геофізичних спостережень на режимній геофізичній станції Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України в с.Тросник (Берегівський район, Закарпатська область). Для визначення ступеню кореляції використано програмне забезпечення для статистичного аналізу, дані про стан сонячної активності, геомагнітного індексу отримано із Інтернет-ресурсів. Встановлено взаємозв'язок сонячної активності та геомагнітного індексу, сонячної активності та рухів кори, сонячної активності та сейсмічності регіону, кореляції геомагнітного індексу та сучасних рухів кори, сейсмічності регіону. Також важливо проведення подібних досліджень на окраїнах Закарпатського внутрішнього прогину, який характерний інтенсивними рухами кори, періодичною сейсмічністю та є недостатньо вивчений в геофізичному аспекті.

#### Список посилань

1. Третяк К.Р., Вовк А.І. Про міграцію екстремумів швидкостей дилатації земної кори на території Європи. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 19-21.
2. Третяк К.Р., Романюк В.В. Дослідження особливостей вертикальних рухів земної кори за результатами спостережень перманентних ГНСС -станцій Європи. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 22-24.
3. Іванік О.М., Андрієць Т.В., Муравко С.В. Дослідження тектогенезу території басейну середньої течії річки Латориця на основі аналізу базисних поверхонь рельєфу. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 34-36.
4. Burakhovych T. K., Kushnir A.N., Tsvetkova T.O. RECENT RESEARCH OF GEOPHYSICAL PARAMETERS OF THE LITHOSPHERE OF EAST-EUROPEAN PLATFORM. JGD. 2013; Volume 15, Number 2: pp. 112 – 114. <https://doi.org/10.23939/jgd2013.02.112>
5. Гнип А.Р. Про відтворюваність взаємного розташування вогнищ повторних землетрусів за даними однієї станції. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 130-132.
6. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В. Геофізичні спостереження в Закарпатті та їх результати. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 154-156.

7. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Коваль Ю.П. Геодинамічна модель та сейсмічний стан Закарпаття за результатами деформаційних спостережень. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 157-159.
8. Климкович Т.А., Максимчук В.Ю., Валах Ф., Вачова М., Миронюк В.М. Порівняльні характеристики параметрів вектора Візе та його варіацій на режимній геофізичній станції „Нижне Селище„ та магнітній обсерваторії „Гурбаново„. Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 171-173.
9. <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>).
10. <http://space.vn.ua/inshe/inshe-moon.html>.
11. WDC-SILSO, Королівська обсерваторія Бельгії, Брюссель

УДК 582.263:504.455

**Бардін О.О., канд. геол. наук., докт. філ., академік УНГА**  
**Бардіна О.О., магістр міжнародної економіки, магістр права**  
Інвестиційне геолого-технологічне підприємство «ГЕОІД», м. Чернігів,  
bardin.alexandr@gmail.com

## ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДОЙМ ВІД СИНЬО-ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ

Однією з найважливіших екологічних проблем сучасності є то, що у наслідок глобального потепління та хімічного забруднення води азотовмісними добривами і сполуками фосфору, що змиваються з полів, відбувається активне забруднення водойм та світового океану синіо-зеленими водоростями. Синьо-зелені водорості – це ціанобактерії (лат. *Cyanobacteria*), які відносяться до фітопланктону, мають діаметр менш 0,1 мм і здібності продукувати кисень та фіксувати атмосферний азот [1].

Синьо-зелені водорості діляться по 2-3 рази на добу і за 4 дні збільшення цієї біомаси відбувається приблизно у десять разів. Вони можуть заповнити навіть велике водоймище протягом короткого часу. Більшість організмів у водоймі цю біомасу не вживають. Маса водоростей утворює плівку на поверхні води і після кількох днів дозрівання відмирає, осідає на дно, розкладається. При її розкладанні поглинається кисень, внаслідок чого створюються безкисневі ділянки по всій площі дна. Йде повсюдно замор риби. Вода отримує неприємний присмак.

Виникає питання як позбутися цього забруднювача. Наприклад, синьо-зелені водорості їдять триколірні раки-самітники (лат. *Clibanarius tricolor*), морські зайці (лат. *Aplysia*), дрібна фауна. На раків-пустельників полюють більші краби, така риба як трихила колюшка (лат. *Gasterosteus aculeatus*), тощо. Тобто біоцикл має варіанти продовження. У прісних водоймах воду від ціанобактерій очищають запускаючи білого амура (водяна корова) та товстолобика.

Ймовірно, за допомогою генної інженерії ця задача має своє рішення. Однак, до цього часу ефективний біологічний процес, який покроково перетворював би усю масу синьо-зелених водоростей у кінцевий продукт – промислову рибу, не створено. Особливо це стосується токсичних штамів ціанобактерій. Тому і виникає питання розробки і застосування відповідних інженерних технологій.

В світі вже накопичився досвід збору синьо-зелених водоростей за допомогою плавучих платформ. Накопичену біомасу переробляють в рідкі, або сухі органічні добрива, у біопаливо [2]. Необхідно відзначити, що синьо-зелені водорості належать до цінних видів рослинної сировини. Вони містяться 35-40% білка, до 20% вуглеводів, до 3% хлорофілу, до 14% каротину, 0,8% фосфору, насичені вітамінами, мікроелементами. [3].

Висушені та перероблені синьо-зелені водорості можна використовувати на корм великої рогатої худоби, свиням та свійській птиці, а також вносити в ґрунт як натуральні органічні добрива для зернових культур та картоплі. Синьо-зелені водорості є недорогим, біологічним заміником синтетичних калійних, фосфорних та азотних неорганічних добрив. Найближчою до Чернігівської області потужною сировинною базою для видобутку синьо-зелених водоростей є Київське водосховище.

Перший етап реалізації проекту видобутку та переробки синьо-зелених водоростей на добрива та кормову добавку передбачає пошуково-оціночні роботи, підрахунок запасів, обґрунтування місця розташування цеху для сушіння і фасування готового продукту, вирішення організаційних питань. Наступний етап це розробка технічного проекту, конструкторської документації, технологічного регламенту, технічних умов на кінцеву продукцію. Надалі здійснюється виготовлення та спуск на воду видобувних та транспортних понтонів, виготовлення та монтаж обладнання сушильного цеху, вирішення питань електропостачання, під'їзних шляхів, введення об'єкта в експлуатацію.

Прогнозна продуктивність одного понтону, обраного за прототип, складає 2,5-3,0 м<sup>3</sup> за годину в'язкої субстанції [2]. Це приблизно 30,0 м<sup>3</sup> за добу, або не менш 1500 м<sup>3</sup> за робочий сезон 1,5-2,0 місяці. Виходячи з потенційної, гарантованої "врожайності" зазначеного водного басейну та сезонності технологічного циклу (аналогічно як при зборі і переробці цукрових буряків), маючи три видобувних і один транспортний понтон, можна орієнтуватися на необхідність переробки близько 3-4 тис.м<sup>3</sup>/рік попередньо зневодненої обладнанням понтону маси. Це близько 1000 т готової, сухої продукції.

Відвантаження сухих водорості планується в Біг-Бехах (м'яких контейнерах) об'ємом 0,7 – 0,9 м<sup>3</sup>. Відвантаження в'язкої, частково зневодненої субстанції планується автомобільними цистернами, оснащеними насосами та форсунками для нанесення рідких добрив на поверхневий шар ґрунту. Річна виручка при вартості 50,0 грн/кг (50% від вартості мінеральних добрив) складає біля 50 млн.грн.

Звісно, що наведені цифри є орієнтовними і підлягають уточненню при розробці проектно-кошторисної документації. Вартість пошуково-оціночних та проектних робіт, а також проведення попередніх експериментів для розробки адаптованого на місцевість технологічного регламенту можна оцінити на рівні 1,8–2,2 млн. грн. Вартість понтонів та обладнання, необхідного для повітряного підсушування, переробки та пакування продукції, можна попередньо оцінити на рівні 12-15 млн. грн.

За довідниковими даними з 1,0 м<sup>3</sup> синьо-зелених водоростей можна отримати до 200 м<sup>3</sup> метану [2]. Вартість метантанкерів, компресорів та електрогенераторів типа MAN E3262 це окремий проект, оскільки він залежить від перспектив продажу електроенергії розміщеним поблизу споживачам [4]. При цьому частка водоростей, яка йде на виробництво біогазу в біореакторах шляхом термофільного бродіння анаеробними бактеріями, після переробки теж йде на виготовлення високоякісного добрива.

З метою отримання додаткового доходу у міжсезонний період видобувні понтони можуть бути обладнані брандспойтами для гасіння пожеж, пристосуваннями для очищення водойм від технічного сміття, видобутку очерету для виготовлення водостійких деревинно-волокнистих плит на території сушильного цеху, добичі сапропелю з дна водойми з його переробкою на добриво, для рибальства та моніторингу.

Незважаючи на достатній існуючий світовий досвід в технології збору та переробки синьо-зелених водоростей є низка науково-технічних питань, які необхідно вирішити при впровадженні даної технології в конкретних умовах. Це створення обладнання первинної фільтрації, яке повинно бути адекватним експлуатуємій водоймі, оптимізації режиму аерації, центрифугування та стерилізації ультрафіолетовим випромінюванням, використання по максимуму сонячного випромінювання для підсушування водоростей, та багато іншого. На вказані питання відповіді будуть надані під час впровадження запропонованих проектних і технічних робіт.

#### Список посилань

1. Ціанобактерії (Ukrainian), provided by wikipedia UK. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://eol.org/pages/3223/articles?locale\\_code=uk](https://eol.org/pages/3223/articles?locale_code=uk)

2. Добыча и переработка сине-зеленых водорослей в корма и удобрения. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://agrobook.ru/blog/user/nikolaj/dobycha-i-pererabotka-sine-zelenyh-vodorosley-v-korma-i-udobreniya>.

3. Jonas Kollmen, Dorina Strieth. The Beneficial Effects of Cyanobacterial Co-Culture on Plant Growth. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8879750/>.

4. Газові генератори для постійної роботи. ТОВ "Далгакиран компресор Україна" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dalgakiran.ua/uk/products/gazovi-generatory-dlya-postiynoyi-roboty/>

УДК 681.5:622.28

**Чоботько І.І., старший викладач**

Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ, efilonov79@gmail.com

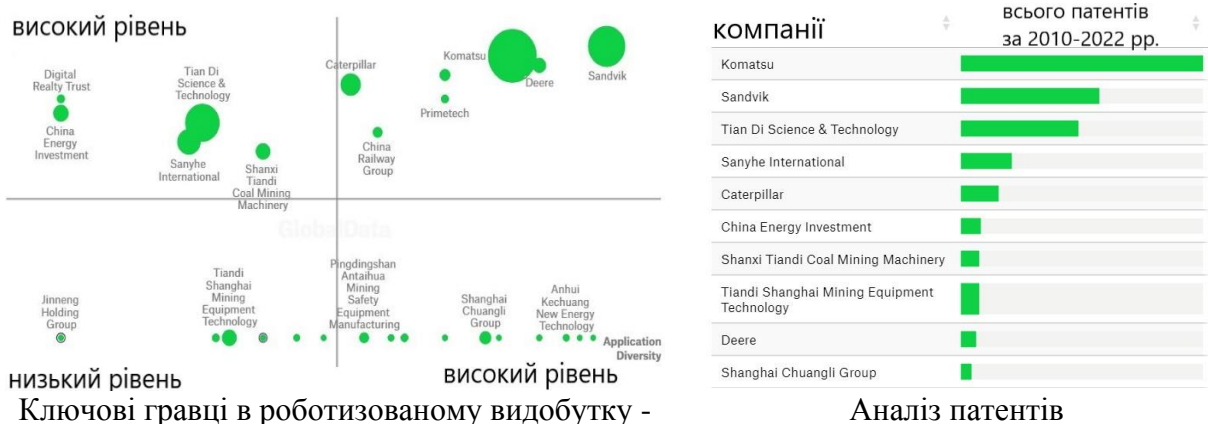
## **РОЛЬ РОБОТІВ У ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ**

Зараз у гірничодобувній галузі активно використовуються роботизовані технології на різних етапах видобутку, від відкритих кар'єрів до підземних робіт та обробки корисних копалин, що призводить до підвищення продуктивності та забезпечення безпеки. Який тип роботів є найбільш важливим для гірничодобувної промисловості? У цій галузі широкий спектр роботів, що використовуються, залежить від конкретного застосування, рівня складності та вимог до надійності. Роботам також потрібна здатність сприймати навколишнє середовище, і для цього вони можуть використовувати різні типи датчиків, таких як датчики дотику, тепла, світла, вібрації, звуку і хімічних речовин, в залежності від конкретних потреб. Крім того, механічні компоненти роботів мають бути точними, надійними, міцними і енергоефективними. У гірничодобувній галузі роботи використовуються для різних операцій, таких як транспортування, буріння, вибухові роботи та розвідка. Найбільш поширеними типами роботів є автономні навантажувачі, бурові системи та роботизовані конвеєрні системи. Наприклад, автономні самоскиди дуже корисні для відкритих кар'єрів, оскільки вони можуть працювати безперервно, оптимізуючи маршрути для зменшення споживання палива і збільшення продуктивності, що призводить до значного зменшення ризику нещасних випадків.

Автономні самоскиди є значущими для видобутку корисних копалин у відкритих кар'єрах. Робота цих вантажівок у режимі 24/7 сприяє оптимізації маршрутів з метою мінімізації споживання палива на 10% та підвищенню продуктивності на 15-30%, одночасно зменшуючи ризик нещасних випадків на 80%, як свідчать дані провідної аналітичної компанії GlobalData. Роботизовані конвеєрні системи, такі як гідравлічні конвеєри, є обов'язковими для транспортування матеріалів і видалення сміття в підземних шахтах. Ці системи забезпечують ефективний транспорт на великі відстані за низьких витрат на обслуговування, що гарантує високу рентабельність інвестицій. Прикладами таких систем є гідравлічні системи від Komatsu та конвеєри від Caterpillar з броньованим вибоєм. Крім того, роботизоване обладнання для технічного обслуговування може мінімізувати час простою під час ремонту. Технологія безпілотників демонструє широкий спектр застосування в гірничодобувній галузі, включаючи розвідку, зйомку, картографування, забезпечення безпеки та підвищення рівня захисту. Популярність дронів у цій галузі стрімко зростає: дослідження GlobalData за 2023 рік на 150 гірничодобувних майданчиках показало значне зростання проникнення дронів в Азії з 46% у 2019 році до 88% у 2023 році, а також швидке зростання в Європі та на Близькому Сході з 37% до 70% відповідно, тоді як в Океанії воно вже було високим, а в Америці - стабільним. Впровадження роботів у процес видобутку корисних копалин стає стратегічним рішенням в умовах, коли галузь піддається тиску необхідності скорочення витрат і підвищення ефективності та безпеки [1].

Аналіз провідної дослідницької організації GlobalData розкриває ідентифікацію провідних компаній у кожній галузі інновацій та оцінює можливості та вплив їхньої патентної активності в різних сегментах застосування та географічних областях. За даними

GlobalData, понад 70 підприємств беруть участь у розробці та впровадженні роботизованого видобутку корисних копалин, серед яких знаходяться постачальники технологій, відомі гірничодобувні компанії та перспективні стартапи. Обсяги патентів, пов'язаних з роботизованим видобутком корисних копалин наведено на рис. 1.



Ключові гравці в роботизованому видобутку - проривна інновація в гірничодобувній галузі

Рис. 1 – Обсяги патентів, пов'язаних з роботизованим видобутком корисних копалин

Компанії Komatsu та Sandvik займають провідні позиції серед заявників патентів у сфері автоматизованого видобутку корисних копалин. Автономні гірничодобувні системи Komatsu включають у себе ряд функцій, таких як дистанційний нагляд і операції, автоматизоване транспортування, високоточне різання, виявлення наближення, запобігання зіткненням, зв'язок між машинами (M2M) і автоматичне затягування болтів.

У серпні 2022 року компанія Komatsu представила систему управління AFC Faceboss RS20s, спрямовану на підвищення операційної синергії та безпеки під час видобутку вугілля в лавах. Ця система, базуючись на платформі RS20s для механізованих кріплень, використовує різноманітні інженерні ресурси та технологічні знання для підвищення продуктивності лавного конвеєра та розширення можливостей підземного видобутку вугілля. У травні 2023 року компанії Komatsu і Toyota Motor оголосили про спільний проект з розробки автономного легкого транспортного засобу (ALV), який буде працювати на автономній системі транспортування (AHS) Komatsu, з метою подальшого підвищення безпеки і продуктивності праці в шахтах шляхом використання автономних вантажних автомобілів.

Сучасні підходи Sandvik до автоматизованого видобутку корисних копалин і розроблені рішення для обробки даних спрямовані на підвищення продуктивності, ефективності та загальної безпеки. У жовтні 2023 року компанія представила AutoMine® Core, комплексну платформу автоматизації для масового видобутку, щоб допомогти клієнтам перейти від ручного до повністю автономного виробництва. Ця нова система спрямована на допомогу клієнтам у переході від ручних методів видобутку корисних копалин до повністю автоматизованих виробничих процесів.

У галузі різноманітності застосувань, Sandvik займає провідне місце, за яким слідують Baidu та LIUNA, відповідно. За географічним охопленням Sandvik також лідирує, і за ним йдуть EquipmentShare.com і Komatsu [2].

**Список посилань**

1. Robots in mining: types and benefits. Mining Technology. URL: <https://www.mining-technology.com/analyst-comment/robots-mining-types-benefits/?cf-view> (date of access: 11.05.2024).
2. Robotics: who are the leaders in robotic mining for the mining industry?. Mining Technology. URL: <https://www.mining-technology.com/data-insights/innovators-robotics-robotic-mining/?cf-view> (date of access: 11.05.2024).

УДК 661.152.4

Ізмоденова Т. І., інженер  
Вакал В. С., канд. техн. наук  
Шепета К. О., канд. с.-г. наук  
Вакал С. В., докт. техн. наук, ст. н. співробітник  
Науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів  
Сумського державного університету, vsvakal@gmail.com

## РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ДОБРИВ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА ЗОЛИ БІОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Останніми роками сільськогосподарське виробництво України стоїть перед низкою нагальних викликів щодо сталого забезпечення фосфатною і калійною сировиною для виробництва складних добрив, необхідністю підвищення родючості ґрунтів, більш повного використання рослинами поживних речовин добрив, а також агрогенним і техногенним забрудненням, що до того ж ускладнено бойовими діями. Проведені Науково-дослідним інститутом мінеральних добрив і пігментів протягом останніх десятиліть науково-дослідні роботи показали можливість застосування фосфоритового концентрату з масовою часткою  $P_2O_{5\text{заг}}$  не менше 28 % нарівні з апатитовим концентратом для виробництва мінеральних добрив. Для фосфоритового концентрату з меншим вмістом загального фосфору інститутом запропоновано безкислотний спосіб одержання добрив, оскільки його переробка сульфатним способом економічно й екологічно не доцільна [1].

Залежно від родовища, в фосфатному концентраті вміст засвоюваного фосфору може бути від 17 % до 90 % від загального фосфору. Даний показник є суттєвим для прямого внесення фосфоритового концентрату при застосуванні на кислих ґрунтах.

Більш глибоке вивчення мінералогічних і фізико-хімічних властивостей такого концентрату дозволило розширити галузь його застосування у виробництві висококонцентрованих складних добрив безкислотним методом. За результатами виконаних досліджень такі технології вже реалізовані низкою малих і середніх підприємств України. Водночас відсутність у фосфатній складовій цих добрив водорозчинних форм фосфору дає певні обмеження при їх використанні. Проведені агрохімічні випробування з модифікування цих добрив органічними поживними речовинами (гуматами лужних металів, сорбентами катіонів, мікробіологічними добавками тощо) показали можливість підняти їх споживчі характеристики до рівня складних водорозчинних добрив, які виробляються кислотним методом.

Іншим поживним елементом, який потребує постійної уваги, є калій. В умовах сьогодення, за наявності вітчизняних покладів калієвмісної сировини, її видобуток зупинено у зв'язку з низкою політичних, економічних та екологічних причин. Зважаючи на наявність певної кількості калію в золі після спалювання органіки, останнім часом значна увага стала приділятися продуктам переробки рослинної продукції, яка в нинішній час розглядається як техногенна сировина. З одного боку це підвищує рентабельність роботи котелень, а з іншого – загострює проблеми організації та зберігання значних кількостей золи у золовідвалах. Виконаний лабораторією інституту хімічний аналіз золи від спалювання деревини різних порід багаторічних рослин, решток соломи сільськогосподарських культур і лушпиння соняшнику показав, що калій у зразках золи знаходиться у водорозчинній формі переважно у вигляді карбонатів і гідрокарбонатів та, залежно від виду сировини, його масова частка в перерахунку на  $K_2O$  визначалась у кількості від 2,1 % до 44,1 %. Тому зола може розглядатися як часткова альтернатива традиційних безхлорних калійних добрив на вітчизняному ринку. У нинішній час декілька українських малих підприємств виробляють зольні добрива зі значним вмістом калію та невисоким – фосфору. При цьому фосфор, за результатами аналітичного контролю, в

гранульованій золі знаходиться переважно в засвоюваній формі. Проте через його невисокий вміст функціональність таких добрив невисока. Для підвищення споживчої цінності зольних добрив запропоновано провести збагачення золи фосфором. Можливо використати як приклад фосфоритне борошно з високим вмістом засвоюваної (цитраторозчинної) для рослин форми фосфору. Такі модифіковані зольні добрива можна використовувати як повноцінні основні добрива (для підвищення родючості ґрунтів за вмістом калію і фосфору та компенсації виносу елементів живлення з урожаєм).

Оскільки калій у золі знаходиться переважно в безхлорній формі та запаси золи поки в країні обмежені, використовувати золу як сировину для виробництва основних добрив нерационально, тому було прийнято рішення про розробку на першому етапі рецептур стартових добрив, які характеризуються наявністю незначної кількості азоту, значною кількістю фосфатної складової, частково у водорозчинній формі та водорозчинного калію. На тепер в сільському господарстві широко використовується стартові добрива на основі моноамонійфосфату (МАФ) з вмістом азоту 11–12 % і фосфору у перерахунку на  $P_2O_5$  – 48–52 %. При цьому майже весь фосфор у водорозчинній формі, але якого не більше ніж 20–40 % засвоюється рослинами, а більша частина переходить у ґрунтові нерозчинні комплекси. Нерідко при виробництві стартових добрив крім МАФ додатковими компонентами можуть бути монокалійфосфат, сульфати амонію і калію. Як правило, для виробництва стартових добрив використовують високоякісну сировину, а найголовніше – калійну сировину без хлоридів або з невисоким їх вмістом. При поєднанні МАФ і рослинної золи з високим вмістом калію (в перерахунку на  $K_2O$  24–34 %) вдавалося отримувати методом окатування на тарілчастому і компактування на валковому грануляторах комплексні стартові добрива формулою  $N_{3,5-5,0}P_{28-32}K_{12-17}$ , при вмісті водорозчинного фосфору 50–70 % від загального. При цьому, контролювано отримували технологічно придатні для використання в сільському господарстві гранули розміром від 1 мм до 6 мм та зі статичною міцністю 1,5–2,5 МПа [2].

Під час вивчення біологічних властивостей отриманих модифікованих зольних добрив як стартових встановлена їх висока ефективність. При дослідженні стартової дії модифікованих зольних добрив на різних ґрунтах, залежно від норм внесення добрив та часу дії встановлено збільшення сухої ваги проростків озимої пшениці на 9,4–17,6 %, вмісту фосфору і калію в біомасі рослин відповідно на 9,4–17,6 мг та 24,8–32,3 мг на 100 проростків відносно неудобрених контрольних рослин. До того ж в присутності калію в складі отриманих добрив, стартові властивості були дещо більш вираженими порівняно з використанням тільки МАФ, внесеному в еквівалентній кількості за фосфором.

Отже, додаткове вивчення фізико-хімічних властивостей фосфатної сировини закордонного й вітчизняного походження та техногенної калієвмісної сировини дозволило концептуально запропонувати нові підходи до зниження техногенного навантаження на довкілля та розроблення технологічних основ і апаратурного оформлення процесів одержання складних екологічно безпечних органо-мінеральних добрив на основі природних компонентів та золи біогенного походження.

#### Список посилань

1. Вакал С.В. Виробництво фосфоровмісних добрив підприємствами України та їх використання в сільському господарстві / В.Г. Заречений, Е.О. Карпович, С.В. Вакал, [та ін.] : монографія. Суми : Університетська книга, 2016. 189 с.
2. Гурець Л. Л., Измоденова Т. І., Вакал В. С., Вакал С. В., Клименко О. Г. Застосування золи від спалювання сільськогосподарських залишків у виробництві добрив. Зб. наук. праць Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова. № 1 (494). 2024. С. 139.



УДК 628.463:165.242.1

Денисов Д.Ю., студент  
Денисова Н.М., канд. техн. наук  
Національний університет «Чернігівська політехніка»,  
[4386793@gmail.com](mailto:4386793@gmail.com)

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ КОРИСНИХ ЗВИЧОК

Серйозною екологічною проблемою нашої держави є накопичення побутових відходів. Особливої стурбованості викликає збільшення масштабів забруднення довкілля відходами війни на значних територіях.

Одним з перспективних напрямів захисту довкілля є впровадження рішень щодо запуску сміттєпереробних підприємств. Але ефективність таких рішень буде високою, якщо відходи будуть розділені по видах. Актуальність таких рішень підтверджується низкою законодавчих документів, наприклад Закон України «Про управління відходами» та Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 13.12.2023 № 1130 Методика роздільного збирання побутових відходів. Європейські нормативи щодо обов'язковості сортування сміття наведені в Директивах ЄС – 1999/31/ЄС та 2008/98/ЄС. Національна стратегія нашої держави «обумовлює необхідність створення та забезпечення належного функціонування загальнодержавної системи запобігання утворенню відходів, збирання, перероблення та утилізації, знешкодження і екологічно безпечного видалення» [1]. З цієї точки зору, в [1] відмічене, що «впровадження освіти в інтересах збалансованого (сталого) розвитку, екологічної освіти та виховання, просвітницької діяльності з метою формування в суспільстві екологічних цінностей і підвищення його екологічної свідомості» є актуальним напрямом роботи фахівців різного профілю.

Окремим цікавим напрямом формування корисної звички «екологічної свідомості» є освітні мобільні застосунки, наприклад комп'ютерні ігри. Використання комп'ютерних ігор як ефективного тренажера реального життя відзначена в деяких публікаціях, наприклад [2].

Тому формування екологоорієнтованих звичок у формі комп'ютерної гри є актуальною науково-практичною задачею.

Комп'ютерні ігри – це ігри на ПК, консолях та мобільних пристроях. Жанрова класифікація їх доволі різноманітна: «квести», «стрілялки», «шутери - блукалки від першої особи» та ін. Аналіз мобільних застосунків на платформі «Android» («Play Market») показав, що більшість з них визначаються як системи, які ілюструють процес переробки, орієнтований на великі масштаби, або системи моделювання та оптимізації систем переробки, але відсутні ті, що формують сам процес поділу відходів.

Тому актуальним завданням, що має наукову та практичну значущість є впровадження ініціатив щодо навчання навичкам сортування сміття, формуючі корисну звичку. Цей процес можна розглядати і як навчальний, і як виховний елемент неформальної освіти задля сталого майбутнього та збереження навколишнього середовища.

### Список посилань

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Розпорядження КМУ від 08.11.2017 р. №820-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

2. Денисов Д. Ю. Використання ігрової моделі формування екологоорієнтованого мислення// International scientific-practical conference “Economics, finance, accounting and law: problems, trends, directions”: conference proceedings (Tampere, Finland, February 12, 2024). Tampere, Finland: Scholarly Publisher ICSSH, 2024.- P.13- 15.

УДК 629.7

**Бойко С.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Котов О.Б., докт. техн. наук, професор**  
Національний університет «Запорізька політехніка», boiko\_s\_n@ukr.net  
**Лапіна О.С., викладач**  
**Реута А.В., викладач**  
Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, lapinasasha@ukr.net

## **СУЧАСНЕ ЕЛЕКТРОННЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАПЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В АЕРОПОРТУ**

Цивільна авіація (ЦА) постійно вдосконалює свої системи безпеки та співпрацює з правоохоронними органами та міжнародними установами для запобігання терористичним актам. Серед інших, слід зазначити такі заходи, як контроль доступу до зон аеропортів, пасажирський контроль на авіаційну безпеку (АБ), що забезпечується службою авіаційної безпеки та системою безпеки на борту літаків [1].

Після завершення дії воєнного стану в Україні та завершення збройної агресії повітряний простір в Україні буде знаходитись в зоні максимального ризику протягом тривалого часу, так як АНВ або інші терористичні дії пов'язані з аеропортом чи його складовими будуть мати максимальний ефект через специфіку та масштабність даного виду транспорту. У післявоєнний період в Україні можливе загострення ситуації щодо ризиків терористичних актів а аеропортах [1].

Особистий контроль відіграє важливу роль у запобіганні спробам пронесення небезпечних предметів та їх виявленні в системі авіаційної безпеки. Даний вид контролю актуальний при особистому догляді пасажира співробітником служби авіаційної безпеки (можливо із використанням ручного метало детектора) та на пряму залежить від навичок та умінь інспектора, що його здійснює, тим самим спричиняє залежність якості проведення особистого контролю від людського фактору.

Контроль за допомогою спеціальних технічних засобів контролю ефективний при перевірці багажу, ручної поклажі та особистих речей. Досвідчений оператор з легкістю інтерпретує зображення вогнепальної та холодної зброї, комплектуючих, боєприпасів – так як на моніторі рентгенотелевізійних інтроскопів (РТІ) чітко видно контури та форму цих предметів при скануванні. Але складним в ідентифікації залишаються органічні предмети та речовини. Саме вибухові пристрої, речовини, складові саморобних вибухових пристроїв являють собою органіку, якій можна надати будь-яку форму та вигляд, замаскувавши, наприклад, під продукти харчування. Ефективним методом додаткового контролю є виявлення слідів вибухових речовин із застосування переносних газоаналізаторів (детекторів вибухових речовин) різних типів, що спонукає до збільшення відсотку проведення вибіркового контролю серед пасажиропотоку. Встановлення та використання РТІ із вбудованою системою датчиків вибухових речовин дозволить 100% перевірку багажу та ручної поклажі, вантажу та пошти на сліди вибухових речовин, що є досить актуальним при відкритті повітряного простору після припинення дії воєнного стану. Принцип роботи такої системи базується на визначенні відносної атомної маси та щільності досліджуваного предмета. Тож, актуальним залишається питання впровадження саме таких інтроскопів, що значно покращить роботу оператора РТІ та рівень безпеки цивільної авіації в цілому. Це питання вирішується завдяки встановленню РТІ, обладнаних автоматичною системою виявлення вибухових речовин.

### **Список посилань**

1. Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М., Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2016. – 216 с.

УДК 623.746

**Бойко С.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Котов О.Б., доктор техн. наук, професор**  
Національний університет «Запорізька політехніка», boiko\_s\_n@ukr.net  
**Реута А.В., викладач**  
**Лапіна О.С., викладач**  
Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, lapinasasha@ukr.net

## **КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКУ СКЛАДІВ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ**

Контроль за станом резервуарів з паливом, на складах аеродромів є ключовою складовою безпекою та ефективним управлінням паливо-мастильними матеріалами. Деякі проблеми та рекомендації для їх контролю включають можливість витоку палива чи деградацію матеріалів резервуару.

У зв'язку із зазначеним актуальності набуває питання контролю технічного стану резервуарного парку складів пально-мастильних матеріалів з використанням БПЛА.

Для контролю за станом вертикальних резервуарів з паливом на складах аеродромів існує кілька альтернативних рекомендацій, які можуть допомогти підвищити ефективність і безпеку моніторингу. З урахуванням сучасних технологій та підходів можна запропонувати застосування безпілотних установок для моніторингу резервуарного парку, що дозволило б забезпечити безпеку, своєчасне виявлення проблеми, зменшити витрати на інспекцію та обслуговування безпілотних установок. Вони можуть надавати широкий обсяг інформації та ефективно моніторити стан об'єктів на значних територіях. Однак для використання цих технічних засобів слід урахувати деякі аспекти, зокрема, перед упровадженням безпілотних установок слід організувати роботу на законодавчому рівні, що регулюють використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [1].

Ефективність використання БПЛА при залученні їх до моніторингу стану резервуарів з паливом підвищується із застосуванням сучасних електронних засобів.

Тож для контролю температури в резервуарах з паливом на дронах і БПЛА використовують інфрачервоні теплові камери або теплові сенсори. Ці датчики здатні вимірювати теплове випромінювання об'єктів і перетворювати його на зображення. Деякі популярні типи теплових датчиків можуть бути використані на дронах і БПЛА для контролю температури в резервуарах з паливом.

Слід приділити увагу болометричним датчикам, котрі вимірюють зміни температури, взаємодіючи зі змінами теплового випромінювання та можуть бути ефективними для розпізнавання температурних аномалій. Болометричні датчики є «каменем» для вимірювання теплового випромінювання об'єктів. Принцип їх роботи базується на зміні електричного опору матеріалу, що знаходиться під впливом теплового випромінювання. Основні компоненти болометричного датчика включають термочутливий елемент, термоізоляцію та датчик зміни опору. Використання болометричного датчика на безпілотних установках для контролю стану резервуарів з паливом має перевагу через швидке, ефективне та безконтактне вимірювання температури.

Тож, БПЛА для контролю технічного стану вертикальних резервуарів пального на аеродромах з використанням сучасних електронних засобів має низку значущих переваг, так як це дозволяє оперативно виявляти будь-які ознаки корозії, витік пально-мастильних матеріалів чи інші технічні проблеми.

### **Список посилань**

1. Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М., Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2016. – 216 с.

УДК 629.7

Жуков О.А., канд. техн. наук, доцент  
Барановський Я.О., студент

Вінницький національний технічний університет, alex4444\_2004@ukr.net,

## СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ

Електричний транспорт є складовою частиною єдиної транспортної мережі України. Міський електричний транспорт перевозить близько 60 % всіх пасажирів в 54 містах нашої країни і цей показник постійно збільшується. До основних технічних вимог, що пред'являються до сучасного рухомого складу міського електричного транспорту можна віднести такі як, підвищення провізної спроможності, зниження матеріалоемності рухомого складу, забезпечення заданих прискорень та сповільнень, а також комфортних умов для пасажирів. Слід зазначити, що важливе значення має зниження енергетичних потреб, зменшення затрат на обслуговування та покращення умов праці. Але дотримання вказаних вимог наявним рухомим складом проблематично, оскільки він морально і фізично застарів [1].

Серед експлуатованих зразків міського електричного транспорту, слід виокремити тролейбуси. Тролейбуси на сьогоднішній день представлені, як ті що живляться від контактної мережі, так і зразки із можливістю автономного ходу. Електромеханічна складова тролейбусів постійно модернізується. Сучасні системи керування тролейбусами використовуються для оптимізації їх руху, забезпечення безпеки пасажирів та економії енергії [2].

Серед сучасних систем керування тролейбусів широкого поширення набули електронні системи керування, котрі дозволяють точно керувати рухом тролейбуса, моніторити його роботу та діагностувати проблеми на ранніх етапах. З метою підвищення ефективності використання електричної енергії, в електромеханічних системах тролейбусів використовуються засоби рекуперації енергії, які дозволяють зберігати енергію, вироблену під час гальмування або спуску. Системи моніторингу та діагностики стану систем тролейбусів надають операторам та технічному персоналу інформацію про стан різних відповідних тролейбуса, що допомагає виявляти проблеми та проводити планове обслуговування перед тим, як вони стануть серйозними. В свою чергу, слід зазначити, що сучасні тролейбуси оснащені автоматизованими системами безпеки, такими як системи виявлення перешкод або системи автоматичного гальмування в разі аварійних ситуацій, що допомагає запобігти аваріям та забезпечує безпеку пасажирів та інших учасників дорожнього руху. Між тим, слід згадати також, що сучасні тролейбуси можуть бути обладнані системами навігації та GPS, які допомагають водіям визначати оптимальний маршрут та вести облік руху транспортного засобу.

Також, слід зауважити, що мікропроцесорні системи керування можуть забезпечити оптимальні характеристики роботи електроприводу тролейбусів на протязі всього терміну служби рухомого складу. Застосування мікропроцесорної системи керування дозволить також робити діагностику силового електрообладнання, фіксувати відмови в його роботі та позаштатні режими.

Тож, сучасні системи керування тролейбусами спрямовані на покращення ефективності, безпеки та комфорту пасажирів, а також на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

### Список посилань

1. Палант О.Ю. Стратегія системної модернізації міського електричного транспорту. – Харків : Золоті сторінки, 2016. – 360 с.
2. Далека В. Х., Хворост М. В., Скуріхін В. І., Скуріхін Д. І., Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина. навч. пос. – Харків: ХНАМГ ім. О. М. Бекет., 2018. – 370 с.

УДК 629.7

Жуков О.А., канд. техн. наук, доцент  
Некрутенко В.О., студент

Вінницький національний технічний університет, alex4444\_2004@ukr.net

## АСПЕКТИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА

Ліфтове господарство представлено у тому числі і пасажирськими ліфтами, котрі є стаціонарними підйомниками переривчастої дії з вертикальним рухом кабіни або платформи за жорсткими напрямними.

Ліфти встановлюються в огороженій з усіх боків шахті, обладнаній на посадкових майданчиках дверцятами, що замикаються. З поміж іншого, слід зазначити, що ліфти вирізняються високим ступенем автоматизації та загальнодоступністю користування, комфортабельністю і безумовною безпекою. Тож електричний привод може відповідати тим високим вимогам, яким мають задовольняти сучасні ліфти [1].

Між тим, слід зауважити, що автоматизація – одна з провідних галузей науки і техніки, розвивається особливо динамічно, вона проникає в усі сфери людської діяльності. Автоматизація якісно змінює характер праці не тільки робітників.

Тож, автоматичне регулювання технологічних процесів на різних технологічних об'єктах дозволяє отримати високу продуктивність при найменших енергетичних витратах і високій продуктивності. Однак системи автоматичного регулювання виявляються недостатньо ефективними, якщо вони спроектовані тільки на підставі загальних положень теорем автоматичного регулювання. Для найбільш ефективної роботи таких систем їх необхідно проектувати з урахуванням особливостей технологічних процесів, для яких вони призначені [1].

Таким чином, модернізація електромеханічних систем пасажирських ліфтів стала нагальною задачею, оскільки старі моделі можуть бути не тільки менш ефективними з точки зору безпеки та комфорту, але й не відповідати сучасним стандартам.

Серед аспектів модернізації таких електромеханічних ліфтових систем, слід виокремити системи безпеки що включає удосконалення систем аварійного гальмування, обмеження швидкості, систем виявлення перешкод, а також установку систем виклику допомоги в разі надзвичайних ситуацій. Також, не менш важливими є питання підвищення енергоефективності електромеханічних систем пасажирських ліфтів, що допоможе допомогти зменшити споживання енергії і знизити витрати на експлуатацію.

Комфорт та зручність експлуатації пасажирських ліфтів має також велике значення та спрямоване на комфорт для пасажирів, такі як підвищення швидкості, зменшення вібрації та шуму, а також встановлення сучасних систем освітлення та вентиляції. Також, у цьому ж контексті важливими є питання доступності пасажирських ліфтів для осіб з обмеженими можливостями.

З поміж іншого, слід зазначити, що штучні нейронні мережі є досить потужним засобом для вирішення задач керування різних типів і складності. Завдяки методам навчання нейронних мереж та експериментальним даним, використання нейромережі дозволяє синтезувати модель оптимальної поведінки електропривода.

Загалом, модернізація електромеханічних систем пасажирських ліфтів має проводитися із впровадженням сучасних потужних автоматизованих комплексів та має бути спрямована на підвищення безпеки, комфорту та ефективності їх експлуатації.

### Список посилань

1. Pilipenko I. O. State of lifting mechanisms in Ukraine and urgent measures for its reppopuction / I. O. Pilipenko // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2016. – Вип. № 131. – С. 37-39. – Серія : Економічні науки.

УДК 622.691.4

Дорошенко Я.В., докт. техн. наук, професор

Стецюк С.М., канд. техн. наук

Іванов О.В., канд. техн. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

yaroslav.doroshenko@nung.edu.ua

Філіпчук О.О., канд. техн. наук

Акціонерне товариство «Укргазвидобування», oleksandr.filipchuk@ugv.com.ua

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ ОЧИСНИХ ПОРШНІВ ІЗ ГІПЕРПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ФАСОННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТРУБОПРОВІДІВ

Щоб запобігти суттєвим втратам тиску в трубопровідних системах і зменшенню гідравлічної ефективності їх внутрішню порожнину треба очищувати від накопичень різноманітних забруднень. Такі заходи дають змогу збільшити запобігти зменшенню обсягів видобування природного газу, підвищити енергоефективність трубопроводів та запобігти втрат транспортованого продукту зумовлених аваріями спричиненими внутрішньотрубною корозією. [1-2]

Мінімізувати втрати транспортованого продукту під час очищення трубопроводів можна застосуванням очисних поршнів. Однак, трубопроводи систем збору газу газових родовищ, газових, теплових і водопровідних мереж містять різноманітні фасонні елементи. До таких елементів відносяться крутовигнуті відводи (радіус вигину рівний  $1,5DN$ , де  $DN$  – умовний діаметр трубопроводу), трійники, перехідники з більшого на менший діаметр. У таких елементах може відбуватись застрягання, руйнування очисних поршнів, що може призвести до повного або часткового закупорення трубопроводу. Щоб цього запобігти за розробленими технологіями виготовлено очисні поршні із різних гіперпружних матеріалів (пінополіуретан різної густини, силіконовий компаунд, поліуретан) різної геометричної форми (рисунок 1). Гіперпружні матеріали дають змогу суттєво підвищити прохідну здатність очисних поршнів, оскільки, вони здатні зазнавати великих деформацій під навантаженням і практично не змінюють свій об'єм, легко вигинаються, деформуються [3]. При цьому пружні властивості гіперпружних матеріалів суттєво залежать від їх твердості. Очисні поршні виготовлено із силіконового компаунда твердістю 30 одиниць за шкалою Шор А і поліуретану твердістю 80 одиниць за шкалою Шор А.

Також суттєвий вплив на прохідну здатність має геометрична форма очисного поршня. Тому розроблено різні геометричні моделі очисних поршнів. Приклади розроблених геометричних моделей очисних поршнів подано на рисунку 1. За розробленими геометричними моделями розроблені геометричні моделі форм для лиття, які були надруковані на 3D принтері. Тоді в надруковані форми для лиття заливали різні гіперпружні матеріали.

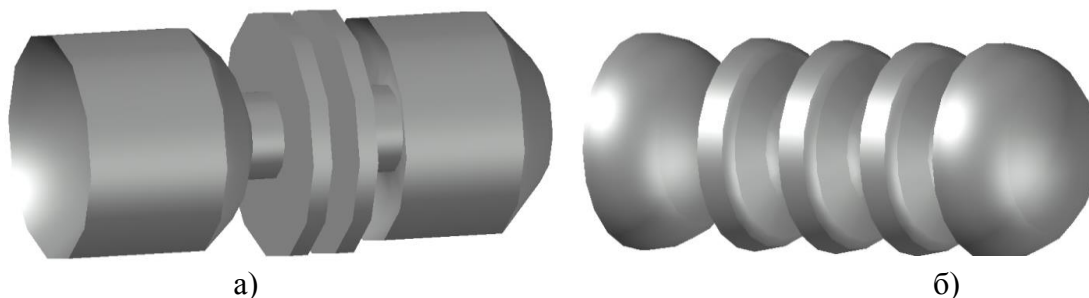


Рис. 1 – Геометрична модель циліндрично-двотілого а) та манжетно-чашкового б) очисного поршня

Щоб дослідити динаміку руху очисних поршнів із різних гіперпружних матеріалів різної геометричної форми фасонними елементами трубопроводів розроблено і змонтовано лабораторні експериментальні установки із металевих та скляних труб, відводів, трійників та перехідників із більшого на менший діаметр труб. Застосування сталевих труб і фасонних елементів дало змогу виконувати дослідження при більших тисках, а скляних візуально спостерігати за динамікою руху очисних поршнів. Очисні поршні запускали в трубопровід і під тиском повітря вони рухались різними фасонними елементами трубопроводу (рисунок 2).



Рис. 2 – Рух циліндрично-дводискового поршня відводом а) та манжетно-чашкового трійником б) трубопроводу

Рух поршнів фасонними елементами трубопроводів визначала сила тертя між бічною поверхнею поршнів і внутрішньою стінкою, геометрична форма поршня, твердість матеріалу з якого він виготовлений. За рахунок вигинання, стискання очисних поршнів у фасонних елементах трубопроводів збільшувались контактні сили між його бічною поверхнею та внутрішньою стінкою, що призводило до суттєвого збільшення сил тертя. Величина контактних сил у свою чергу визначає силу тертя і залежить від геометричної форми поршня, твердість матеріалу з якого він виготовлений. Тому поршні із поліуретану твердістю 80 одиниць за шкалою Шор А застрягали в трійниках для усіх напрямків руху потоку у їх внутрішній порожнині. Що стосується поршнів із силіконового компаунда твердістю 80 одиниць за шкалою Шор то вони застрягали у трійниках коли потік із магістралі перетікав у відгалуження трійника (за виключенням поршнів циліндричної геометричної форми). Причинами застрягання поршнів у трійниках є не тільки виникнення значних контактних сил, а й перетікання через них. Перехідники із більшого на менший діаметр труб проходили без руйнування тільки манжетно-чашкові поршні.

#### Список посилань

1. Дорошенко Я.В. Дослідження складу трубопровідних газорідних потоків та впливу наявних у них шкідливих домішок на режими перекачування, енерговитрати на транспортування / Я.В. Дорошенко, О.М. Карпаш, Б.Н. Гожаєв // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2019. – № 4 (73). – С. 35 – 45. [http://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-4\(73\)-35-45](http://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-4(73)-35-45)
2. Experimental effectiveness studies of the technology for cleaning the inner cavity of gas gathering pipelines / V.B. Volovetskyi, Ya.V. Doroshenko, O.S. Tarayevs'kyu, O.M. Shchyrba, J.I. Doroshenko, Yu.S. Stakhmych // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2021. – Vol. 105, Issue 2. – P. 61 – 77. <http://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0518>.
3. Elgström E. Practical implementation of hyperelastic material methods in FEA models / E. Elgström // Master of Science thesis in Mechanical Engineering. Karlskrona. Sweden, 2014. – 49 p.

УДК 621.311.4

Єщенко О.І., канд. техн. наук, доцент

Виноградов-Салтиков В.А., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», doc44ent@gmail.com,  
bcbactn@ukr.net

## КОНЦЕПЦІЯ АВТОНОМНОЇ ЛОКАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ, ЯК ІНСТРУМЕНТА КРИТИЧНОЇ ЕНЕРГОІНФРАСТРУКТУРИ

Енергоінфраструктура відіграє важливу роль в забезпеченні енергетичної безпеки держави, створенні умов для життєдіяльності населення та розвитку національної економіки. Головним трендом енергетичної політики держави є забезпечення надійності і стійкості енергопостачання промислової та житлово комунальної сфер економіки шляхом розвитку та застосування автономних локальних систем енергопостачання концепція яких ґрунтується на науково-практичних досягненнях світової енергетики.

При розробці та проектуванні автономної локальної системи енергопостачання (АЛСЕ) в якості компонента критичної енергоінфраструктури необхідним є аналіз функцій окремих складових системи та критеріїв, що визначають енергоефективність системи в цілому [ 1].

Системний підхід в розробці та проектуванні такої системи базується на концепціях Smart Grid, LES (Local Energy System), TES (Thermal Energy System), DER (Distributed Energy Resource) і має на меті підвищення стійкості та стабільності енергопостачання .

Основні позитивні моменти АЛСЕ:

- оптимізація енергоресурсів;
- енергоефективність технологій та обладнання;
- автоматизовані системи управління режимними параметрами;
- програмно-апаратне середовище (комплекс) з контролю, управління та планування енерговикористанням із статичною корекцією АСУ ТП /М&Т (Monitoring and Targeting Systems);
- можливість інтеграції в централізовану систему енергопостачання;
- інтеграція в АЛСЕ відновлювальних і нетрадиційних енергоресурсів;
- накопичування і зберігання (тепло, електроенергія);
- ефективність використання енергоресурсу в складних економічних умовах (економічні кризи);
- стабільне функціонування всього енергокомплексу країни.

До переваг даного підходу слід віднести:

- комплексне використання енергетичного ресурсу традиційних, нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії;
- безперебійне і надійне енергопостачання окремого мікрорайону великого міста або населеного пункту сільської місцевості;
- підвищення рівня енергетичної окремо взятого регіону безпеки, а при масштабуванні всієї країни;
- використання сучасного вискоефективного устаткування та передових технологій в тепло/електрогенерації;
- зменшення впливу приватного монополіста-виробника енергетичних послуг ;
- при розміщенні АЛСЕ поблизу промислових підприємств можливість використання вторинних енергетичних ресурсів (теплових, горючих);
- використання паливних ресурсів місцевого походження (ТПВ, біоресурси);
- створення сприятливих умов до залучення інвестицій;
- стимулювання вітчизняного виробництва енергетичного устаткування;
- стимулювання розвитку інноваційних енергетичних технологій в процесі розробки стартап проекту.



Компоненти АЛСЕ:

- підсистема генерації енергії (тепло/електроенергія);
- підсистема трансформації і передачі енергії;
- підсистема акумуляції енергії (тепло/електроенергія);
- підсистема зберігання резервного водного ресурсу;
- підсистема моніторингу з контролю і управління;
- підсистема гарантованого електропостачання.

Енергоресурси :

- централізовані мережі постачання (газ, електроенергія);
- паливні (продукти нафтопереробки, скраплений газ);
- відновлювані джерела енергії (ВДЕ) ;
- нетрадиційні енергоресурси місцевого походження;
- вторинні енергетичні ресурси.

Застосування автономних енергоустановок вимагає, в першу чергу, ув'язування потужностей виробництва і споживання енергії, що змінюються; стабільного знімання енергетичних потоків малої щільності від поновлюваних джерел у широкому діапазоні її потужностей, швидкостей та витрат; високоякісного перетворення отриманої енергії під задані характеристики електричних та теплових навантажень. Необхідно передбачити можливість підключення існуючого енергообладнання традиційного типу, а також об'єднання різних видів обладнання в локальні мережі з підсумовуванням потужностей за загального значного зниження витрат на їх створення, обслуговування та експлуатацію.

Модульна структура автономної локальної енергосистеми дозволяє об'єднувати споживачів у енергетичний район із створенням локальних мереж. При цьому сумарна потужність мережі енергорайону багато в чому визначатиметься типорозміром модуля автономної енергосистеми, що застосовується. Так, використовуючи модуль типорозміром 4 кВт можна створити енергорайон загальною потужністю до 100 кВт, а типорозміром 33 кВт - потужністю до 1000 кВт. Такі типорозміри дозволяють не тільки задовольняти практично всі вимоги різних споживачів (виробничі, житлово-комунальні та ін.), а й повністю уніфікувати енергетичне обладнання – від трубопроводів до блоків автономної енергосистеми.

Це скорочує витрати на виготовлення та транспортування обладнання, будівельно-монтажні роботи, терміни введення об'єкта в експлуатацію, створення ліній зв'язку із споживачем тощо. Ремонтні та профілактичні роботи на генеруючому обладнанні локальної енергосистеми можуть проводитися без відключення споживача. Необхідна тривалість безперебійного енергопостачання у разі забезпечується, за бажанням споживача, з допомогою установки додаткових модулів устаткування.

Енергозабезпечення таких споживачів можливе при комбінованому використанні розосередженої енергогенерації та низькопотенційної енергії вітру, сонця, малих річок, тощо. Основна паливна складова у собівартості такої енергії або дуже мала, або відсутня. Таким чином, енергоустановки, що використовують відновлювані джерела, більш ефективні, ніж дизельні (бензинові) електростанції або приєднання до централізованих енергосистем (з урахуванням потужності споживача та витрат на будівництво ліній

#### Список посилань

1. Єремєєв І.С., Єщенко О.І. Системи автономного теплозабезпечення будівель //Технічні науки та технології. науковий збірник. – Чернігів: ЧНТУ –2023. –№2(32). –С.313-320. DOI: 10.25140/2411-5363-2023-2(32)-313-320

УДК 621.311.4

Єщенко О.І., канд. техн. наук, доцент  
Кругленко І.І., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [doc44ent@gmail.com](mailto:doc44ent@gmail.com)

## ІНТЕГРОВАНА ЛОКАЛЬНА СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

В умовах енергетичної нестабільності гарантоване безперебійне енергозабезпечення комунального та промислового секторів економіки країни набуває особливого значення. Існуючі технічні рішення орієнтуються головним чином на наявність єдиних енергомереж великої потужності та експлуатацію устаткування в єдиній енергосистемі. Загалом це підвищує надійність централізованого енергопостачання, одночасно змушуючи застосовувати жорсткі заходи щодо забезпечення стійкості системи, аж до примусового автоматичного відключення окремих споживачів у кризових ситуаціях.

Заповнити відсутність (або пошкодження) централізованого енергопостачання, у тому числі у віддалених районах, можуть автономні енергетичні установки малої потужності, що використовують як традиційні енергоресурси, так і нетрадиційні та відновлювальні джерела.

На сьогоднішній день децентралізоване виробництво енергії з використанням когенераційної технології є одним із найбільш економічних способів отримання електроенергії та тепла зі збереженням природних ресурсів. Децентралізована генерація (DER - Distributed Energy Resource) має суттєві переваги перед традиційною роздільною генерацією і є більш ефективною у використанні первинної енергії. Майже відсутні втрати тепла з газами, що відходять та незначні втрати при передачі електроенергії роблять когенераційні установки (КГУ) безперечною альтернативою з точки зору зменшення викидів CO<sub>2</sub>.

Так, загальна ефективність КГУ від фірми Viessmann (ФРН) становить до 107 відсотків (на основі нижчої теплоти згоряння). Наприклад, модуль Vitobloc 300 NG 20 (NG = природний газ) досягає теплової ефективності до 75% та електричної ефективності понад 32%. Когенераційні установки Viessmann, розроблені спеціально для комерційного використання, можуть використовуватись скрізь, де постійно потрібні електроенергія та тепло. Vitobloc 300 і Vitobloc 200 особливо прості в обслуговуванні з інтервалами ТО до 8000 годин без необхідності доливати мастило. Вони також мають можливість електричної модуляції до 50%, і можуть працювати як в режимі переважного виробництва тепла, так і електроенергії.

Сенс використання когенерації полягає в тому, що при прямому виробленні теплової енергії, створюється можливість вироблення електричної енергії.

В роботі розглядається застосування КГУ виробництва фірми Viessmann для забезпечення стабільності енергопостачання промислового підприємства. Виконано попередні розрахунки з енергопостачанням від КГУ Vitobloc EM 199/263.

Розраховане максимальне теплове навантаження об'єкта складає:

- опалення  $Q = 477,3$  кВт
- ГВП:
  - літній період  $Q_{\text{гвп.ср.літ}} = 20,3$  кВт
  - опалювальний період  $Q_{\text{гвп.ср.}} = 31,7$  кВт
- сумарне навантаження споживачів  $\sum Q = 529$  кВт.

Розрахунок теплової схеми виконано для п'яти характерних режимів:

I – максимальний зимовий при;

II – режим з середньою температурою найбільш холодного місяця;

III – режим з середньою температурою зовнішнього повітря за опалювальний період;

IV – режим з температурою зовнішнього повітря в точці злому температурного графіка мережної води;

V – літній режим.

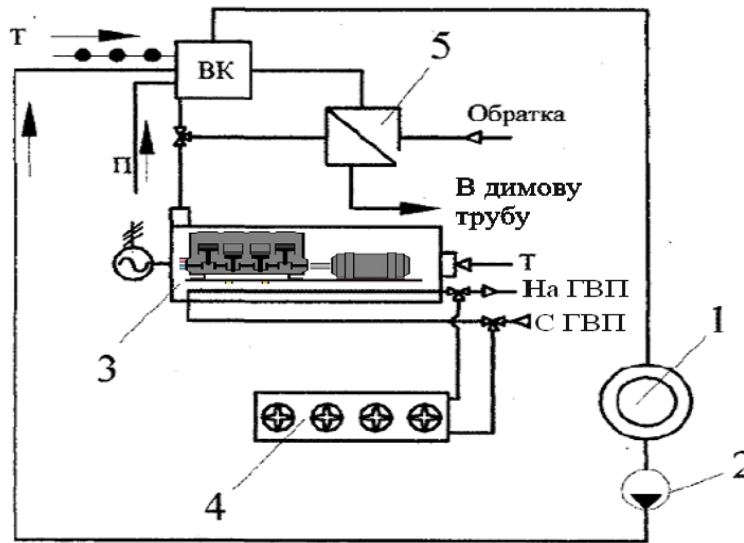


Рис.1 – Принципова схема когенераційної установки з водогрійним котлом:

1 – споживач опалення, 2 – циркуляційний насос, 3 – двигун внутрішнього згорання, 4 – повітряний охолоджувач, 5 – утилізаційний теплообмінник, ВК – водогрійний котел

Електрика використовується переважно в місці генерування (без накладних витрат постачальників енергії) і тому її вартість для споживача може бути до 5 разів менше, ніж енергія з мережі. Більш того, залишок електроенергії може транспортуватися через міські електромережі до іншого об'єкта, або безпосередньо може бути придбана міською електромережею.

Режими роботи КГУ з електромережами: паралельний режим роботи з міською електромережею та автономний режим (дві мережі розподіленні між собою).

Згідно з даними максимальне споживання електроенергії на підприємстві складає 190 кВт/год. Переглянувши таблицю «Технічні характеристики Vitobloc EM 199/263», можна зробити висновки, що для забезпечення потреб підприємства цілком достатньо однієї когенераційної установки, але для забезпечення підприємства в тепловій енергії потрібно дві когенераційні установки, тому в літній перерід буде працювати лише одна КГУ, яка буде забезпечувати підприємство електричною та тепловою енергією. В зимовий період (опалювальний) під час роботи двох КГУ, залишок електроенергії буде збуватися в міську електромережу.

Концепція управління інтегрованою локальною системою енергопостачання промислового підприємства передбачає створення системи управління енергоресурсами, як мікроенергостанції в цілому, так і її елементів на базі алгоритмів прогнозування:

- попиту на енергію в межах мікроенергосистеми за видами (з врахуванням пори року, часу доби, погодних умов та ін.);
- попиту на енергію зі сторони зовнішніх енергосистем;
- потенціалу генерування установками, що використовують відновлювані джерела енергії;
- технічного стану та режимів роботи складових елементів мікроенергостанції (генератори, накопичувачі, перетворювачі, розподільчі мережі);
- технічного стану та режиму роботи зовнішніх мереж;
- технічної доступності того чи іншого енергоресурсу;
- вплив на формування попиту на енергію;

- вплив на формування попиту на генерування, як зовні та і всередині мікроенергомережі.

Актуальною є система з таким рівнем адаптації із зміною властивостей складових елементів та в цілому всієї структури розосередженої енергостанції, яка забезпечила б управління надлишками енергії, шляхом використання динамічних систем генерування/акумуляування (добового, сезонного), як регуляторів навантаження.

Розрахунковий термін окупності складає  $T_{\text{окуп}} = 6,5$  років.

УДК

**Шумило Андрій**

**Байцар Роман, докт., техн. наук., професор**

Національний університет “Львівська політехніка” м.Львів, Україна, [shumandrew92@gmail.com](mailto:shumandrew92@gmail.com)

## **ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛИВУ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА, САДІВНИЦТВА ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

Автоматизовані системи поливу рослин не лише демонструють технологічний прогрес, але й стають важливим інструментом для збереження водних ресурсів та створення сприятливого середовища для росту рослин. Сучасне сільське господарство та ландшафтний дизайн потребують ефективних рішень, а системи автоматизованого поливу відповідають цим вимогам, забезпечуючи оптимальний рівень зрошення та раціональне використання водних ресурсів.

Однією з ключових переваг таких систем є їхній інтелектуальний підхід до керування поливом. Завдяки сучасним сенсорам вологості, температурних та атмосферних умов, системи можуть точно визначати необхідну кількість води для рослин у кожен конкретний момент часу. Це дозволяє ефективно використовувати ресурси та уникнути надмірного зрошення, що може призвести до фінансових витрат та пошкодження рослин.

Загалом, автоматизовані системи поливу рослин — це не лише зручне та ефективне рішення для сільського господарства та ландшафтного дизайну, але й важливий крок у напрямку сталого використання ресурсів та охорони навколишнього середовища. Їх впровадження сприяє створенню здорових та привабливих ландшафтів, а також підтримує екологічний баланс у природних екосистемах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що використання систем автоматизованого поливу може призвести до зменшення витрат води на полив на 20-50% порівняно з традиційними методами, такими як ручний полив або використання зрошувачів. Це демонструє позитивний вплив автоматизованих систем поливу на урожайність рослин. Регулярний та оптимально налаштований полив може сприяти збільшенню врожаю та покращенню якості продукції [1].

Аналіз економічних аспектів використання систем автоматизації поливу часто показує, що вони можуть бути вигідними з фінансової точки зору, забезпечуючи зниження витрат на воду та працю, а також збільшення виробничої продуктивності [2].

Дослідження також вказують на екологічні переваги використання систем автоматизації поливу, такі як зменшення впливу на довкілля через ефективне використання водних ресурсів та збереження ґрунтової вологи [3].

Мета роботи полягає в розгляді важливості та переваг систем автоматизації поливу рослин як для сільськогосподарських потреб, так і для ландшафтного дизайну. Через аналіз останніх досліджень та публікацій у цій галузі, доповідь спрямована на висвітлення ефективності, економічних та екологічних переваг використання таких систем. Крім того, вона ставить за мету підкреслити важливість цих технологій у забезпеченні сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Закликаючи до впровадження та оптимізації систем автоматизації поливу, доповідь має на меті сприяти розвитку ефективного та

екологічно чистого сільського господарства, а також створенню здорових та привабливих ландшафтів у міських та сільських територіях.

Автоматизована система поливу рослин забезпечує ефективне та раціональне використання води, а також економить людські ресурси завдяки автоматичному включенню та переключенню pomp. Зрошувальна система може бути легко налаштована відповідно до змінних потреб рослинних культур і вимагає мінімального обслуговування. Модульна конфігурація автоматизованої системи поливу дозволяє розширювати її для великих теплиць [4].

На основі аналізу сучасних автоматизованих систем поливу та врахування їхніх переваг та недоліків, розроблено власний проект – систему автополиву для присадибної плодової ділянки. Оскільки використання лише статичного пульта або комп'ютера не є зручним у даному випадку, передбачена можливість керування системою з переносного пристрою, зокрема, смартфона, з використанням Wi-Fi. Мобільний додаток для смартфона забезпечує повне налаштування та керування системою. У запропонованій системі поливу використовуватимуться сенсори температури та вологості ґрунту. Інформації, отриманої від них, буде достатньо для визначення потрібних погодних умов. Управління струменями води здійснюється за допомогою помпи та електромагнітних клапанів. Для налаштування системи враховані дані температури, вологості ґрунту, атмосферного тиску та часу доби.

Складовими елементами системи автоматизованого поливу є: контролер, сенсор вологості ґрунту, сенсор температури, сенсор атмосферного тиску, силовий модуль, помпа для перекачування води, FTP-сервер [5].

Автоматизована система складається з двох модулів, що з'єднані між собою по мережі Wi-Fi (однак, можливе і провідне з'єднання), що дозволяє передавати дані про вологість ґрунту, температури та атмосферного тиску через закриту інтернет мережу.

Бездротовий сенсорний блок (рис. 1) складається з контролера, сенсорів та джерел живлення. Недорогий, надійний, бездротовий, що забезпечує тривалий період працездатності без обслуговування. Сенсорний блок призначений для зв'язку з базовим блоком (рис. 2). Коли сенсорний блок виявляє показники вологості, температури та атмосферного тиску, сенсорний блок зв'язується з базовим блоком і надає дані щодо поточного стану. Сенсорний блок отримує інструкцію для зміни робочих параметрів і керування зовнішніми пристроями. Сенсори підключаються по інтерфейсу РІС. Тому за допомогою програмного забезпечення можна автоматично керувати подачею води для поливу. Кілька сенсорних блоків можна встановити по зрошувальній площі для налаштування розподіленої мережі сенсорів для автоматизованої системи зрошення.

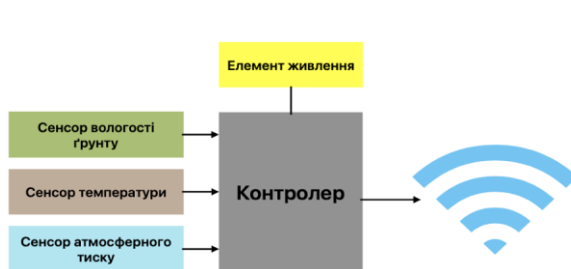


Рис. 1 – Модуль сенсорного блоку



Рис. 2 – Модуль базового блоку

В свою чергу, програмна частина базового блоку проаналізувавши показники сенсорного блоку активує силовий модуль, що негайно запустить насос для перекачування води.

Інформацію можна відстежувати онлайн дистанційно за допомогою пристроїв доступу до інтернету та WEB-сервісу.

Висновки. Запропонована автоматизована система поливу рослин є надзвичайно ефективною в оптимізації водних ресурсів для сільськогосподарського виробництва. Ця

система допомагає здійснювати автоматичний моніторинг, що дозволяє заощадити трудові ресурси, а також доводить, що використання води може бути суттєво зменшено для заданої кількості виробництва свіжої біомаси.

#### Список посилань

1. Оптимізація зрошувальних норм при платному водокористуванні в сучасних ринкових умовах [Текст] : дис... канд. техн. наук / Волошин Микола Миколайович
2. Наукові засади відновлення технічного стану інженерної інфраструктури зрошувальних систем в Україні у повоєнний період / М. І. Ромащенко, О. П. Музика, І. В. Войтович, С. В. Усатий // Вісник аграрної науки. — 2023. — № 6. — С. 61-70. //
3. Сидоренко В. Ефективне управління водою / В. Сидоренко, В. Нестеренко, Д. Жмак // Пропозиція. — 2022. — № 2.
4. Automated Irrigation system using Wireless Sensor Network / Shahin A. Pathan, MR. S.G. Hate // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)/ ISSN: 2278-0181 Vol. 5 Issue 06, June-2016
5. Складові ефективного управління зрошенням. Датчики вологості/ В. Сидоренко, В. Нестеренко, Д. Жмак // Пропозиція. — 2023. — № 2.

УДК 504.61:335.01

**Дрозд О.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Андрєєва Н.Б., канд. пед. наук, доцент**  
**Карпасюк О.О., студент**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,  
oksana.drozd@nuos.edu.ua

### ЕКСПЕРТНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАДАЧІ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ

Від початку деокупації Херсонщина регулярно зазнає жорстких авіаударів, мінометних і артилерійських обстрілів та інших терористичних дій з боку ворога. За результатами оцінки прямих збитків інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на початок 2024 року [1] Херсонська область входить у п'ятірку найбільш постраждалих регіонів України, де прямі збитку оцінюються у 12277 \$млн. Виконаний в роботі [2] системно-аналітичний огляд проблемних питань щодо перспектив відновлення економіки України в післявоєнний період показав необхідність прискорення розвитку переробної промисловості, що сприятиме поповненню дефіциту ресурсів.

Рециклінг є пріоритетним напрямом переробки відходів руйнації; за допомогою провідних технологій зруйновані об'єкти та їх уламки перетворюються на нові матеріали та конструкції. Методологічний підхід до рециклінгу відходів руйнації розглянуто у авторських роботах [3, 4]; проблемні питання вимагатимуть подальшого вирішення.

**Мета роботи** – визначення експертних і технологічних задач рециклінгу відходів руйнації.

Для досліджень обрано фрагменти відходів руйнації автомобільного транспорту, листового віконного скла, монолітного та гофрованого полімерного шиферу. Експериментальні роботи полягали у виокремленні фрагментів, які далі досліджували методами хімічного, термічного, мікроструктурного аналізу з фіксацією отриманих результатів у розробленій базі даних [4]. Обробка інформації здійснювалась за допомогою методів системного аналізу [5]. Експертні і технологічні задачі наведено у табл. 1.

Наукове значення роботи полягатиме у тому, що процес рециклінгу відходів руйнації розглядається як складна технічна система з аналізом пошкоджень на мікрорівні та розробці технологічних заходів.

Одержані результати спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми впровадження безвідходних технологій і подолання дефіциту сировинних ресурсів.

Таблиця 1 – Експертні та технологічні задачі рециклінгу відходів руйнації [складено авторами]

Проблемні питання	Задачі	Заходи
<b>Експертні задачі</b>		
Ідентифікація матеріалу відходів	Постановка і проведення експериментальних робіт з хімічного аналізу	Створення мобільних лабораторних комплексів
Визначення ступеня деградації матеріалу внаслідок зовнішньої дії	Дослідження мікроструктури і фізико-механічних властивостей уламків з побудовою калібрувальних шкал пошкодження	Створення бази даних інформаційних ознак деградації структури і властивостей металевих, скляних, полімерних матеріалів
Прийняття рішень щодо подальшої переробки або утилізації	Проведення експертної оцінки зразків-свідків	Впровадження систем інформаційної взаємодії між службами комунальних підприємств і експертами
<b>Технологічні задачі</b>		
Сортування великих обсягів відходів руйнації	Систематизація відходів руйнації за походженням, хімічним складом та майбутнім застосуванням	Залучення служб комунальних підприємств
Демонтаж, очищення та інші види обробки металевих елементів	Творення розвиненої системи складів із запасами сировини	Розробка та впровадження нових логістичних ліній промислової переробки на корисну продукцію
Подрібнення скляних та полімерних уламків	Створення стаціонарних і пересувних переробних комплексів	Відновлення та переобладнання існуючих промислових підприємств
Розробка технологічного комплексу з виготовлення нових матеріалів	Створення альтернативного резерву сировинного ресурсу	Розробка науково-технічного підґрунтя для стартапів

**Висновки.** Сформульовані експертні і технологічні задачі рециклінгу відходів руйнації; визначено заходи щодо їх реалізації.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням експериментальних робіт.

#### Список посилань

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на початок 2024 року [електроний ресурс]: URL: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24\\_Damages\\_Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf) (дата звернення 17.05.2024 р.)
2. Івата, В. В. Проблеми та питання відновлення економіки України в післявоєнний період [Текст] / В. В. Івата, Ю. О. Прокопів, Ж. Сіманавічене // Збірник наук. праць НУК. – 2023. – № 4. – С. 150-158.
3. Дрозд, О. В. Експертиза відходів руйнації на основі ознак структурної деградації матеріалів та перспективи рециклінгу [Текст] / О. В. Дрозд // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2023. – Том 34 (73). – № 4. – С. 176-182.
4. Дрозд, О. В. Інформаційна підтримка експертизи та повторного використання сталевих елементів зруйнованих авто [Текст] / О. В. Дрозд, О. В. Васильєв // Бекетівські хімічні читання. Теорія і практика кризових ситуацій: матеріали Міжнародної конф. для молодих вчених, аспірантів та магістрів. Харків 7-9 листопада, 2023 р. – Харків ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – С. 77-81.
5. Теорія систем в екології: підручник [Текст] / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло [та ін.]. – Суми: Сумський державний ун-тет. – 2015. – 330 с.

УДК 621.3

Бодунов В.М., канд. техн. наук, доцент

Кулько Т.В., канд. техн. наук

Національний університет «Чернігівська політехніка», [gortv@stu.cn.ua](mailto:gortv@stu.cn.ua)

### АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ДОДАТКОВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ З ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯМ

Електрообладнання побутових споживачів відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання, що потребує надходження живлення до підстанції від двох незалежних джерел. Розглянемо можливість забезпечення аварійного електропостачання житлового будинку від дизельного генератора в разі відмови обох джерел внаслідок бойових дій чи стихійного лиха. Калькуляцію затрат на дизельгенератор потужністю 1,1 МВт наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Калькуляція затрат на дизельгенератор

Найменування	Од.вим.	К-ть	Вартість
Дизельний генератор	шт	1	12 883 200,00
Цистерна для зберігання палива	шт	1	160 000,00
Роботи по влаштуванню цистерни			
Розробка ґрунта	м <sup>3</sup>	70	14 320,00
Монтаж цистерни	шт	1	8 320,00
Засипка та ущільнення ґрунта	м <sup>3</sup>	50	8 852,00
Заземлення	шт	1	10 440,00
Роботи по влаштуванню генератора			
Розробка ґрунта	м <sup>3</sup>	11	1 842,00
Влаштування монолітної плити	м <sup>3</sup>	11	70 672,38
Встановлення генератора	шт	1	11 820,00
Огородження генератора	шт	1	100 000,00
Підключення генератора до будівлі	шт	1	507 000,00
Заземлення	шт	1	10 440,00
Вартість обладнання:			13 043 200,00
Вартість встановлення:			743 706,38
Всього:			13 786 906,38
*Вартість роботи 1 год генератора			18 560,00

Примітка: В вартість роботи 1 год генератора включено лише витрати на паливо без обслуговування

Згідно ПУЕ [1] лише для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного джерела.

Як видно з табл. 1, використання дизельного генератора є економічно недоцільним, оскільки вдвічі збільшує затрати на зовнішнє електропостачання, додатковою проблемою такого рішення є наявність резервуару з пожежо- та вибухонебезпечною речовиною об'ємом 23м<sup>3</sup> (для забезпечення 72 годин безперервної роботи) в безпосередній близькості від житлового сектору.

#### Список посилань

1. Правила влаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760с.



УДК 621.355

Пристапа А.Л., канд. техн. наук, доцент  
Кулик Б.І., канд. техн. наук  
Борсук В.А., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», anatoliy.prystupa@stu.cn.ua

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ TESLA POWERWALL ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

В умовах частих перерв в електропостачанні, які стали регулярними через повномасштабну військову агресію Росії, питання безперебійного живлення відповідальних електроприймачів (реанімації, операційні, системи освітлення та вентиляції бомбосховищ, тощо) стають особливо актуальними. До традиційних заходів підвищення надійності належать:

- використання безперебійних джерел живлення (БДЖ);
- встановлення портативних генераторів на рідкому паливі (дизельні, бензинові) або газові генератори;
- використання систем акумуляування електроенергії;
- застосування відновлюваних джерел енергії (фотоелектричні панелі, вітрогенератори).

Встановлення автоматики вводу резерву (АВР) дозволяє швидко переключати живлення між резервними системами і основним джерелом без втручання людини.

Планування графіку енергоспоживання для інтервалів часу пікових навантажень енергосистеми та схеми розподільних електричних мереж, з можливістю відключення найменш важливих електроприймачів під час пікових навантажень, може забезпечити стабільність для відповідальних електроприймачів.

Підвищенню ефективності сприятиме комплексна реалізація низки запропонованих заходів, залежно від потреб і доступних ресурсів.

Сучасним засобом підвищення надійності для побутових споживачів є застосування систем накопичення енергії Tesla Powerwall [1].

Tesla Powerwall — це сучасний літій-іонний акумуляторний блок виробництва компанії Tesla, Inc. Сучасна лінійка накопичувачів Tesla включає Powerwall 2, Powerwall 3 та Powerwall+ [1].

Tesla Powerwall може зберігати до 13,5 кВт·год електроенергії. Залежно від модифікації, Powerwall може забезпечувати максимальну потужність від 5 кВт до 11,5 кВт.

Завдяки можливості інтеграції з сонячними панелями, Powerwall може використовувати заряд від сонячних панелей для забезпечення постійного енергопостачання, навіть під час перебоїв з мережею (рисунок 1,а). Крім того конструкція комутаційної шафи Gateway дозволяє підключати додаткове навантаження (Non-backup) понад максимальне, яке буде заживлене тільки при наявності стаціонарної мережі (рисунок 1,б).

Для живлення відповідальних електроприймачів (реанімації, операційні, системи освітлення та вентиляції бомбосховищ, тощо) системи Tesla Powerwall забезпечують безперервність енергопостачання з мінімальним часом переходу на живлення від акумуляторів (десятки мілісекунд). Це дозволяє забезпечувати стабільну роботу складного медичного обладнання, не спричиняє збільшення струму внаслідок самозапуску електричних двигунів. Інтелектуальна система управління та літій-іонна акумуляторна батарея швидко реагують на коливання в мережі, забезпечуючи стабільне джерело енергії.

Використання користувацького додатку для моніторингу роботи системи (рис.2,а) дозволяє не тільки контролювати рівень заряду акумулятору, стан з'єднання з стаціонарною електричною мережею, рівні споживання та баланси енергії в межах об'єкту, а й дозволяє гнучко змінювати оперативні режими, визначати граничні значення переходу від одного джерела енергії до іншого (рис 2, б). [2]

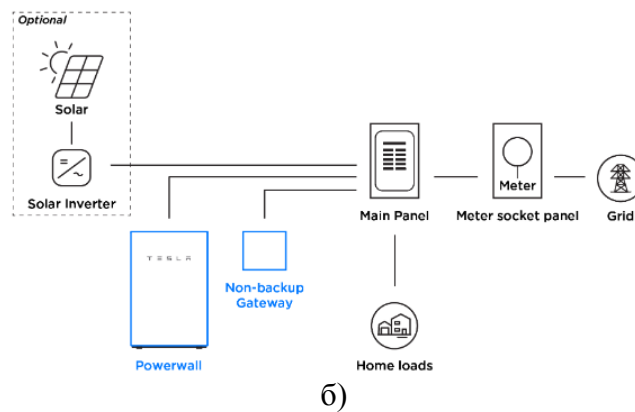
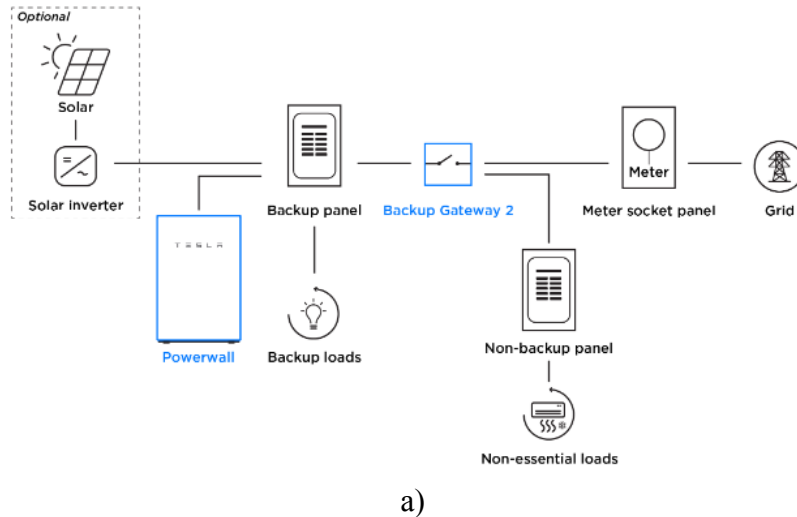


Рис. 1 – Структурна схем підключення Tesla Powerwall

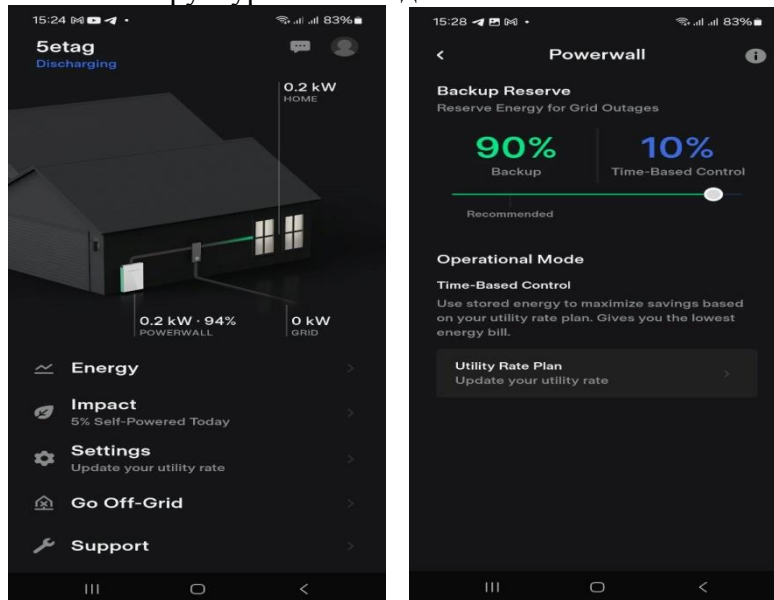


Рис. 2 – Зовнішній вигляд системи Tesla App

Ефективність даних систем підтверджено досвідом використання Tesla Powerwall в закладах освіти та охорони здоров'я Чернігівської області.

#### Список посилань

1. <https://www.tesla.com/powerwall>
2. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.teslamotors.tesla&hl=en&gl=US>

УДК 658.567.1

Русакова Т.І., докт. техн. наук, професор  
Кебус С.В., студент

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, rusakovati1977@gmail.com

## РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ

Раціональне водокористування починається із вирішення проблем щодо використання води в повсякденному житті. Як відомо, для використання доступно менше 1% води, оскільки решта – солоня вода океанів, прісна в льодовиках або в інших джерелах, недоступних для використання. Оскільки рівень урбанізації постійно зростає, кількість населення збільшується, то зростає попит на ресурси прісної води, а пропозиції залишаються постійними і поступово знижуються, так як вода не завжди повертається в ті самі місця, в тій самій кількості та якості.

Вода відіграє ключову роль у підтримці нашого повсякденного життя на належному рівні. Вода використовується в різних сферах: для пожежогасіння, в муніципальних парках, для водопостачання в будинки і на різного роду виробництва, для зменшення посухи і покращення стану довкілля. Також воду використовують деякими способами, які явно не видно: для вирощування рослин та тварин, виробництва товарів споживання і забезпечення безперебійної роботи бізнесу, для енергетичних потреб. Лише 30% води використовується на відкритій місцевості, а 70% у закритих приміщеннях.

В Україні ми маємо легкий доступ до очищеної води, вона є важливою частиною нашого повсякденного життя, ми використовуємо її для різноманітних цілей, але розуміння того, скільки ми споживаємо і чи є таке водокористування раціональним залишається важливим питанням.

Існує кілька напрямків регулювання водоспоживання та водовідведення:

- встановлення обмеження в 125 літрів води на людину на день у нових житлових будинках з нижньою межею 110 літрів, що буде входити до вимог будівництва;
- використання душової kabіни замість ванни, або ванни повинні бути розроблені таким чином, щоб вони були більш ефективними;
- встановлення санвузлів з подвійним зливом, що вже стає нормою;
- збір дощової води за допомогою водопровідної системи може замінити водопровідну воду для більшості зовнішніх потреб;
- належне озеленення може захистити від посухи та від повеней і запобігти марнотратному стоку води;
- навчання на виробництвах щодо раціонального користування водними ресурсами;
- обговорення проблем та наголошення на перевагах передового досвіду за допомогою засобів масової інформації.

Для об'єктивного розуміння того, яке відношення до процесу раціонального водокористування в реальному житті у побутових споживачів, було проведено опитування серед викладачів та студентів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара впродовж семи днів травня місяця з 09.05.2024 по 16.05.2024 року.

Наведемо результати опитування, яке дає наочне уявлення про розуміння важливості раціонального водокористування в оселях. В опитуванні прийняли участь 421 респондент відповідно: 82% – студенти та 18% – викладачі, із усіх опитаних 57% мешкають у квартирах багатоповерхових будинків, а 43% – в приватному будинку.

На питання щодо наявності лічильника, 74% респондентів відповіли, що мають лічильники, але 26% ще не використовує лічильники на обсяги споживання води.

На питання щодо справності сантехнічних приладів, 85% респондентів відповіли, що не мають несправностей, а 15% - мають проблеми.

На питання щодо використання душі чи ванни, 74% опитаних віддають перевагу душі, а 26% - ванній.

На питання щодо використання економних насадок на крани, 54% застосовують такі засоби, але 46% не знали про це або не цікавляться цим.

На питання щодо раціонального використання води під час чищення зубів та миття посуду (коли вода непотрібна) 69% респондентів відповіли, що вимикають воду, але 31% відповіли, що це не є зручним.

На питання щодо обсягів використання води на місяць, 56% використовують від 5 до 10 м<sup>3</sup>; 22% – 10-15 м<sup>3</sup>, 14% – 1-5 м<sup>3</sup>; 8% – більше 15 м<sup>3</sup> на місяць (рис. 1).

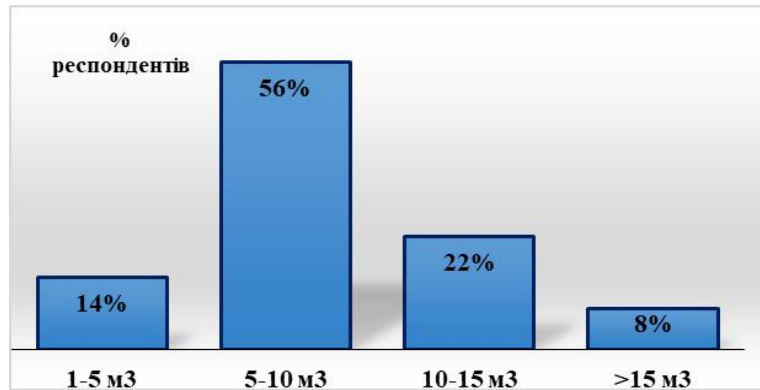


Рис.1 Обсяги використання води на місяць

З рисунка 1 можна бачити, що найбільша кількість респондентів використовує в місяць на помешкання до 10 м<sup>3</sup> води, що не перевищує показники використання води в інших країнах.

На питання щодо способів миття посуду, 77% миють посуд під краном, 23% - використовують посудомийну машину.

На питання щодо кількості точок водопостачання, 77% мають від 1 до 3 точок водопостачання, 18% – від 3 до 5, 5% – більше 6.

На питання щодо користування пральною машиною, 54% споживачів користуються пральною машинкою раз на 2-3 дні, 31% – раз на тиждень; 10% – кожного дня; 5% – не користуються (рис.2).

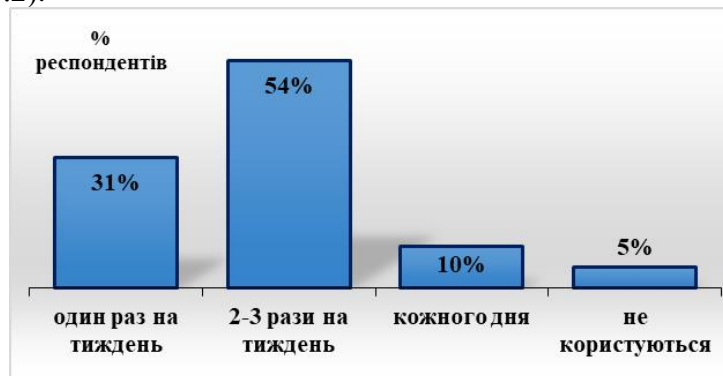


Рис. 2 Частота користування пральною машиною

На питання щодо обсягів бойлерів, 11% використовують бойлер на 50 літрів, 34% – на 80 літрів, 11% – на 100 літрів; 11% – більше ніж на 100 літрів, 33% не використовують водонагрівачі (рис. 2).

Згідно проведеного опитування встановлено, що переважна більшість опитуваних осіб свідомо ставиться до використання води у побуті, а саме: мають лічильник на воду – 74%,

не мають несправної сантехніки – 85%, віддають перевагу душу замість ванни – 74%, вимикають за непотреби воду при чищенні зубів або митті посуду – 69%.

#### Список посилань

1. Junier S., El Moujabber M., Trisorio-Liuzzi G., Tigrek S., Serneguet M., Choukr-Allah R., Shatanawi M., Rodríguez R. 2011. Dialogues on Mediterranean water challenges: Rational water use, water price versus value and lessons learned from the European Water Framework Directive, pp.29-36.

УДК 621.396.6

Сатюков А.І., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Приходько М.В., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», anatoliy.prystupa@stu.cn.ua

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СМОГУ В МІСТІ ЧЕРНІГІВ

Електромагнітний смог – це форма забруднення довкілля, яка виникає в результаті використання технологій, пов'язаних з виробництвом, передачею та використанням електроенергії. Він включає в себе різні типи електричних, магнітних полів, та електромагнітне випромінювання від радіочастотних передавачів, бездротових мереж, мобільних телефонів, супутникових комунікацій.

Основними джерелами електромагнітного смогу є:

- Електромережі, особливо високовольтні лінії передач та електричні підстанції;
- Системи мобільного зв'язку та бездротові технології;
- Радіо та телевізійні передавачі;
- Побутова техніка.

Останнім часом підвищився інтерес до безпеки НВЧ пристроїв та систем. Це викликано значним розповсюдженням мобільних телефонів, бездротового інтернету, мікрохвильових пічок і т.д. І якщо років 15 тому було дуже мало відповідної інформації, то зараз навпаки, її стало дуже багато. На жаль, іноді досить безграмотної.

Відповідно зріс інтерес і до санітарних норм НВЧ випромінювання. Проте різні країни ввели відповідні величини, які суттєво відрізняються між собою. В першу чергу величини що нормуються. Так у більшості випадків фігурує об'єктивна величина - густина потоку потужності з розмірністю мкВт/см<sup>2</sup>. В той же час в технічних характеристиках гаджетів фігурує розмірність Вт/кг, яка викликає питання типу кг – це маса усього тіла людини, або тільки голови.

Норми густину потоку потужності в різних країнах теж суттєво відрізняються:

- Польща, Білорусь, Казахстан -10 мкВт/см<sup>2</sup>;
- Україна - 100 мкВт/см<sup>2</sup>;
- Канада – 130-200 мкВт/см<sup>2</sup>;
- США, Європа (більшість країн) Японія, Корея - 200-1000 мкВт/см<sup>2</sup>;
- Китай – 40-2000 мкВт/см<sup>2</sup>.

В Україні норми регулюються відповідним наказами Міністерства охорони здоров'я [1].

Нами були проведені вимірювання параметрів електромагнітного смогу усього в місті Чернігові. Вимірювання проводилася за допомогою вимірювача EVM-190 [2]. Прилад дозволяє визначити напруженість електричного поля, індукцію магнітного поля та густину потоку НВЧ потужності. Місцями вимірювань були: берег р. Десна, середня школа, ринок центральний (робочий та вихідний день), торговий центр Голівуд, вокзал, зупинка громадського транспорту, кафе.

Вимірювання проводились в інтервалі від 08.09.2023р. до 19.10.2023р. В результаті вимірювань встановлено, що напруженість електричного та індукція магнітного були досить стабільними і не перевищували нормативних значень. Величина густини потоку

НВЧ потужності теж не перевищувала норм безпеки, але спостерігались коливання в межах від 0,02 до 8,20 мкВт/см<sup>2</sup>.

Певною несподіванкою було те, що на ринку покази у вихідний день практично не відрізняються від значень у робочий день. Це можна пояснити тим, що основний вклад у випромінювання зумовлений телевізійним передавальним центром, який розташований поруч з ринком.

#### Список посилань

1. Про затвердження Зміни до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Наказ МОЗ України від 30.11.2020 № 2760
2. Вимірювач електромагнітних полів Tenmars TM-190 (EVM-190) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.evm.ua/magnetometry/izmeritel-elektromagnitnyx-polej-tenmars-tm-190>

УДК 004.946

**Приступа А.Л., канд. техн. наук, доцент**  
**Будник В.В., аспірант**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [anatoliy.prystupa@stu.cn.ua](mailto:anatoliy.prystupa@stu.cn.ua)

### АЛГОРИТМ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНОГО МОДУЛЯ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Ефективна підготовка фахівців електроенергетичної галузі пов'язана з надзвичайно важливою складовою практичної підготовки, що включає в себе не тільки питання вивчення конструкції, особливостей експлуатації та технічного обслуговування широкої номенклатури як окремих електричних апаратів, так і складних електроенергетичних систем, а й життєво важливі питання охорони праці та безпечного виконання робіт підвищеної небезпеки.

В умовах обмежень, викликаних коронавірусною хворобою, а потім активною фазою бойових дій на території України, заклади вищої освіти, що здійснюють підготовку фахівців в галузі електричної інженерії зіткнулись з нетривіальним викликом: надати здобувачами достатній рівень практичних навичок в дистанційному (віддаленому) режимі. В якості однієї з відповіді на даний виклик стало більш активне впровадження тренінгів віртуальної реальності в освітній процес.

В умовах значного руйнування електроенергетичних об'єктів та надання допомоги у вигляді різноманітного електричного обладнання від країн партнерів України постала також ще одна задача інтеграції доволі різнотипного обладнання в межах окремих електроенергетичних об'єктів та швидкого навчання персоналу особливостям його монтажу, експлуатації та технічного обслуговування. Дана задача також ефективно може бути вирішена шляхом використання тренінгів віртуальної реальності. В даному випадку це також дозволяє проводити навчання в різних куточках країни у зручний час (в тому числі після виконання виробничих обов'язків), без необхідності тривалих відряджень для проходження перепідготовки (підвищення кваліфікації) в навчальних центрах.

На даний момент не зважаючи на стрімкий розвиток технологій віртуальної реальності, тренінгів саме для електроенергетичної сфери не так багато. [1, 2] Тому актуальним є об'єднання зусиль різних груп розробників імерсивних технологій щодо збільшення кількості модулів віртуальних тренінгів.

На основі наявного досвіду [3] можна запропонувати наступний покроковий алгоритм розробки навчального модуля віртуальної реальності для електроенергетики:

1. Визначення цілі навчання: Чітке визначення конкретних цілей навчання для електроенергетики. Визначення знань, навичок та компетентностей, які повинні бути передані здобувачеві за допомогою навчального модуля віртуальної реальності.

2. Проведення оцінки потреб ринку: Провести ретельну оцінку потреб, щоб зрозуміти конкретні виклики та вимоги електроенергетичного підприємства. Визначити сфери, де навчання у віртуальній реальності може бути найбільш ефективним і результативним для усунення прогалин у підготовці та підвищення продуктивності.
3. Визначення результатів навчання: На основі фінальних цілей навчання та оцінки потреб визначити чіткі та вимірювані результати навчання для навчального модуля з віртуальної реальності. Ці результати повинні формулювати те, чого мають досягти або продемонструвати учасники після завершення навчання.
4. Збір експертних знань з предметної області: Співпраця з експертами в галузі електроенергетики, щоб зібрати знання та ідеї, що стосуються конкретного обладнання, технології, процесу. Ці експерти нададуть рекомендації щодо кращих галузевих практик, протоколів безпеки, особливостей експлуатації обладнання та режимів його роботи, щоб забезпечити точність, релевантність та актуальність навчального модуля віртуальної реальності.
5. Розробка віртуального середовища: Розробка віртуального середовища має точно відтворювати реалістичні сценарії та умови, що зустрічаються. Це включає створення точних 3D-моделей електростанцій, диспетчерських пунктів, підстанцій, тощо.
6. Створення інтерактивних навчальних сценаріїв: Розробка інтерактивних навчальних сценаріїв у віртуальному середовищі покликана забезпечити активне залучення учнів та має достовірно імітувати реальні виклики (в тому числі аварійні режими, що можуть супроводжуватись значними шумовими та світловими ефектами). Ці сценарії повинні дозволити здобувачам відпрацьовувати навички, приймати рішення і відчувати наслідки в безпечному і контрольованому віртуальному середовищі.
7. Інтегрування даних в реальному часі: Вивчення можливостей інтеграції потоків даних в режимі реального часу з енергосистем, обладнання та датчиків у навчальний модуль віртуальної реальності. Це підвищить достовірність і реалістичність навчального процесу, дозволяючи учням взаємодіяти з динамічними даними і відповідно реагувати на них.
8. Розробка інтерактивних навчальних симуляцій: Створення інтерактивних навчальних симуляцій, які відтворюють складні процеси та процедури в електроенергетиці/комунальному господарстві. Це може включати симуляції роботи обладнання, завдань технічного обслуговування, реагування на надзвичайні ситуації, усунення несправностей та протоколів безпеки.
9. Оцінювання та зворотній зв'язок: Інтегрування механізму оцінювання та зворотного зв'язку в навчальний модуль віртуальної реальності, щоб оцінити роботу учнів і забезпечити конструктивний зворотний зв'язок. Це можуть бути тести, практичні вправи, показники ефективності та експертні оцінки.
10. Тестування та вдосконалення: Провести ретельне тестування та оцінку навчального модуля з віртуальної реальності, щоб забезпечити його ефективність, зручність використання та відповідність визначеним результатам навчання. Зібрати відгуки від здобувачів та експертів, щоб визначити сфери, які потребують вдосконалення, і внести необхідні зміни.
11. Розгортання та впровадження: Після того, як навчальний модуль віртуальної реальності буде визнаний ефективним і готовим, розгортається для цільової аудиторії. Надання чітких інструкцій та вказівки щодо доступу та навігації у навчальному модулі віртуальної реальності.
12. Моніторинг: Постійне відстеження та оцінка впливу та ефективності навчального модуля віртуальної реальності в досягненні бажаних результатів навчання. Збір відгуків від здобувачів, відстеження показників ефективності та внесення необхідних коректив, щоб покращити навчальний процес.

Дотримуючись цього покрокового алгоритму можна систематично розробляти навчальний модуль віртуальної реальності, який відповідає конкретним навчальним потребам, залучає учнів і покращує їхні знання та навички в реалістичному та захоплюючому середовищі. Для підвищення ефективності навчання доцільно об'єднувати VR тренінги з іншим освітнім контентом (відео 360, презентації, вебінари, тощо) в межах імерсивних платформ, наприклад metaenga [4].

#### Список посилань

1. Paszkiewicz, A.; Salach, M.; Dymora, P.; Bolanowski, M.; Budzik, G.; Kubiak, P. Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. Sustainability 2021, 13, 5049. <https://doi.org/10.3390/su13095049>

2. Abich, J.; Parker, J.; Murphy, J.S.; Eudy, M. A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. Virtual Real. 2021, 1–15. Available online: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00498-8>.

3. ЦИФРОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА МАГІЯ - Єлектроний ресурс розробки VR тренінгів для інженерів-енергетиків – <https://digitalengineeringmagic.com/>

4. МЕТАЕНГА - Імерсивна тренінгова платформа для промислових підприємств - <https://metaenga.com/>



**СЕКЦІЯ 8**  
**ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОМП'ЮТЕРНА**  
**ІНЖЕНЕРІЯ. КІБЕРБЕЗПЕКА. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ**  
**СИСТЕМИ**

*UDC 004.056.5:004.056.53*

**Rzaieva S., PhD in Engineering, Associate Professor**  
State University of Trade and Economics, [rzaevasl@knute.edu.ua](mailto:rzaevasl@knute.edu.ua)

**Rzaiev D., Senior Lecturer**  
Kyiv National Economic University, [ditomas@ukr.net](mailto:ditomas@ukr.net)

**Kovalyova L., Specialist of the Department**  
State University of Trade and Economics, [l.kovalova@knute.edu.ua](mailto:l.kovalova@knute.edu.ua)

**THE IMPACT OF MULTI-FACTOR AUTHENTICATION ON PROTECTING  
CONFIDENTIAL INFORMATION IN CLOUD STORAGE**

In recent years, the proliferation of cloud storage solutions has revolutionized the way individuals and organizations store, access, and manage data. However, along with the convenience and scalability offered by cloud storage, concerns about the security and privacy of confidential information have become increasingly prominent. As cyber threats continue to evolve and become more sophisticated, traditional methods of authentication, such as passwords, are no longer sufficient to protect sensitive data stored in the cloud. This is where multi-factor authentication (MFA) emerges as a critical solution in enhancing security measures and safeguarding confidential information.

Multi-factor authentication involves the use of multiple independent factors to verify the identity of a user before granting access to a system or application. These factors typically fall into three categories: something you know (e.g., a password or PIN), something you have (e.g., a mobile device or security token), and something you are (e.g., biometric data such as fingerprints or facial recognition). By requiring users to provide multiple forms of identification, MFA significantly reduces the risk of unauthorized access, even if one factor is compromised.

In the context of cloud storage, the implementation of multi-factor authentication plays a crucial role in mitigating various security threats and protecting confidential information. One of the primary benefits of MFA in cloud environments is its ability to prevent unauthorized access to data, even if login credentials are stolen or compromised. For example, in a scenario where an attacker obtains a user's password through phishing or brute-force attacks, MFA adds an additional layer of security by requiring a second form of authentication, such as a one-time password sent to the user's mobile device. This additional step significantly increases the difficulty for attackers to gain unauthorized access to sensitive data stored in the cloud.

Furthermore, multi-factor authentication helps address the inherent risks associated with user authentication in cloud environments, such as account hijacking and insider threats. By incorporating factors beyond just passwords, MFA ensures that only authorized individuals with legitimate access rights can access confidential information stored in the cloud. Additionally, the use of biometric authentication methods, such as fingerprint or facial recognition, provides an extra level of security by uniquely identifying users based on their physical characteristics.

However, while multi-factor authentication offers significant advantages in enhancing security in cloud storage, its successful implementation requires careful consideration of various factors. Organizations must evaluate the usability, compatibility, and scalability of MFA solutions to ensure seamless integration with existing cloud infrastructure and user workflows. Moreover, user education and awareness are crucial to promoting the adoption of MFA practices and mitigating potential resistance or reluctance to change.

In addition to multi-factor authentication (MFA), another crucial aspect of bolstering security in cloud storage environments is adaptive authentication. Adaptive authentication goes beyond traditional static authentication methods by continuously evaluating various factors and adjusting the authentication requirements based on the risk profile of the user and the context of the login attempt.

Unlike static authentication methods, which rely solely on predetermined factors such as passwords or security tokens, adaptive authentication leverages dynamic risk assessment to determine the appropriate level of security needed for each authentication attempt. This approach considers factors such as the user's location, device information, behavior patterns, and transaction history to make real-time decisions about whether to grant access or require additional authentication steps.

The implementation of adaptive authentication in cloud storage environments enhances security by providing a more nuanced and context-aware approach to user authentication. For example, if a user attempts to access cloud data from a new device or location that deviates from their typical behavior patterns, adaptive authentication may prompt additional verification steps, such as answering security questions or providing biometric authentication. Conversely, if the login attempt originates from a known and trusted device within the user's usual location, adaptive authentication may require only minimal authentication steps, thereby enhancing user experience without compromising security.

One of the key benefits of adaptive authentication is its ability to adapt to evolving threats and user behaviors in real-time. By continuously monitoring and analyzing authentication attempts, adaptive authentication systems can detect anomalies or suspicious activities and respond accordingly by adjusting authentication requirements or triggering alerts for further investigation. This proactive approach helps mitigate the risk of unauthorized access and data breaches in cloud storage environments.

Furthermore, adaptive authentication enhances the user experience by providing a seamless and frictionless authentication process. By dynamically adjusting authentication requirements based on contextual factors, adaptive authentication minimizes unnecessary authentication challenges for legitimate users while effectively thwarting unauthorized access attempts.

However, the successful implementation of adaptive authentication requires careful consideration of privacy and regulatory compliance concerns. Organizations must ensure that they collect and analyze user data in a transparent and ethical manner, adhering to relevant privacy regulations such as GDPR or CCPA. Additionally, robust security measures must be in place to protect sensitive user information from unauthorized access or misuse.

In conclusion, multi-factor authentication represents a cornerstone in strengthening the security posture of cloud storage environments and protecting confidential information from unauthorized access and cyber threats. By requiring multiple forms of identification, MFA enhances authentication mechanisms and reduces the risk of data breaches and unauthorized disclosures. As organizations continue to embrace cloud technologies, the adoption of multi-factor authentication will be indispensable in ensuring the confidentiality, integrity, and availability of sensitive data stored in the cloud.

### References

1. Sarraute, C., Uzal, L., & Menasalvas, E. (2020). A Multi-factor Authentication Scheme for Cloud Computing Based on Blockchain Technology. In 2020 IEEE World Congress on Services (SERVICES) (pp. 146-153). IEEE.
2. Khan, S., & Zhang, S. (2017). Multi-factor authentication scheme using biometric and cloud-based secure vault. *Future Generation Computer Systems*, 76, 226-240.
3. Methods of Modeling Database System Security. Rzaieva, S., Rzaiev, D., Kostyuk, Y., Hulak, H., Shcheblanin, O. //CEUR Workshop ProceedingsThis link is disabled., 2024, 3654, pp. 384–390
4. The use of a genetic algorithm in the problem of distribution of information security organizational and financial resources. Lakhno, V., Akhmetov, B., Adilzhanova, S., ...Svitlana, R., Dmytro, R. // ATIT

2020 - Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 2020, pp. 251–254.

5. Sun, Q., Li, X., Zhang, L., & Wen, Q. (2019). Multi-Factor Authentication Based on Cloud Computing for IoT Devices. IEEE Access, 7, 38436-38447.

UDC 004.4

**Anatoliy Davidenko, Doctor of Sciences**

Institute of Modeling Problems in Energy named after G.E. Pukhov, Kyiv  
davidenkoan@gmail.com

**Vlad Lubin, PhD student**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, lubinvlad2@gmail.com

## OPTIMIZATION OF ENERGY-EFFICIENT OBJECT RECOGNITION ALGORITHM FOR THE K210 CHIP

The Kendryte K210 chip, renowned for its dual-core RISC-V processor and neural network processing capabilities, presents a unique platform for deploying advanced object recognition tasks. However, the inherent challenge lies in optimizing these tasks for maximum energy efficiency without compromising algorithmic accuracy. This thesis delves into the application of the averaging method — a technique traditionally employed in the optimal control of nonlinear systems with fast-oscillating coefficients — to the specific case of object recognition algorithms on the K210 platform.

By drawing parallels with the established approach of applying asymptotic methods to differential equations and inclusions for systems with small parameters, we adapt the averaging method to the domain of computer vision on embedded systems. The core premise involves simplifying the non-linear, non-autonomous dynamics of object recognition algorithms into a form that allows for autonomous operation, thereby facilitating the application of efficient numerical techniques for solving the optimized control problem within the energy constraints of the K210 chip.

A typical operating voltage for the chip when performing computer vision tasks is **VDD = 3.3V/1.8V IO**. Due to the application of the averaging method, it is possible to perform operations at the minimum permissible declared voltage of **0.7\*VDD**, which indicates a potential optimization of 30% of the initial voltage.

$$E_{savings} = (N_{orig} - N_{opt}) * E_{opt}$$

Energy efficiency estimation. A study of the implementation of the recognition algorithm in three modes of operation was carried out, thanks to optimization by averaging, the task was achieved in the most efficient mode of operation. Our study confirms the feasibility of solving the original object recognition problem and its averaged counterpart under practical assumptions about the operating parameters of the K210. We demonstrate the convergence of optimized controls from the original algorithm to an energy-efficient process developed for the K210.

The findings underscore the potential of algorithmic adjustments and control optimizations in enhancing the energy efficiency of embedded systems tasked with complex object recognition operations. By leveraging the specific features of the K210 chip and applying methodological innovations from the field of optimal control, we pave the way for more sustainable and efficient use of technology in diverse applications. The implications of this research extend beyond the technical sphere, offering insights and methodologies that can be adapted to broader contexts where energy efficiency is of critical importance.

### References

1. Kendryte Datasheet. Canaan Inc. [Electronic resource]. – Access mode: <https://github.com/kendryte/kendryte-doc-datasheet>

UDC 519.24

**Anna Pavlik, Ph.D., Associate Professor**  
**Inna Sardardinova, head of laboratory**  
**Maria Dotsenko, master's degree**

National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute»  
[dvan@ukr.net](mailto:dvan@ukr.net)

## COMBINATORY RESEARCH TEST PLANS

Intensification of the processes of creating new competitive products requires reducing time and improving the quality of design work. These requirements can be met using new design technologies based on the use of mathematical modeling and computer technology. At all stages of the life cycle, technical systems are constantly subjected to various tests.

The testing of a technical object is understood as the process of experimentally determining the qualitative or quantitative characteristics of its properties. Depending on the purpose, tests are divided into control (checking the object's compliance with established requirements) and research (studying certain characteristics of the object's properties).

The field of research testing relates to experimental design. In accordance with existing definitions [1, 2], an experiment is a system of operations, influences and (or) observations aimed at obtaining information about an object during research tests. Experience is the reproduction of the phenomenon under study under certain experimental conditions with the possibility of recording its results, and the experimental plan is a set of data that determines the number, conditions and order of implementation of experiments.

The complexity and cost of these tests is constantly increasing. To increase the efficiency of research, the development of test plans related to the theory of experimental planning is of great importance [3, 4].

The application of combinatorial experimental designs in the design and testing of technical systems is considered. Optimal experimental design often requires complex orderings of experiments according to various factors, and such orderings may be based on combinatorial configurations or combinatorial designs. The effectiveness of experimental planning largely depends on the correct choice of combinatorial design to take into account the influence of external factors. A method for constructing combinatorial research test plans has been developed.

To reduce the complexity of developing diagnostic software, reduce the duration of the process, improve the quality of design, and reduce the cost of its development, the TEST program [5] has been developed, which allows you to automate the process of developing diagnostic software, reduce development time and improve its quality by generating minimal test sequences and simplifying control schemes.

The use of combinatorial plans for solving test problems and in experiments allows one to obtain more complete information about the object, as well as significantly reduce the cost of computer time.

### References

1. Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiments [Текст] / D.C. Montgomery. – New York: John Wiley & Sons, 2009. – 215 p.
2. Anderson V. L., McLean R. A. Design of experiments: a realistic approach. – CRC Press, 2018.
3. Montgomery D. C. Design and analysis of experiments. – John Wiley & Sons, 2017.
4. Rodrigues M. I., Iemma A. F. Experimental design and process optimization. – Crc Press, 2014.
5. Computer program "TEST" / Dotsenko M.I. et al. Registered in UNOPI № 118504, 30.03.2023.

UDC 631.363.2

Yu Bojian, master's student, [245073700@qq.com](mailto:245073700@qq.com)  
Zhejiang Ocean University, Zhoushan, China

## DEVELOPMENT OF THE DESIGN AND CONTROL SYSTEM OF A BIONIC FISH ROBOT

So far, there remains a problem of monitoring water quality in the inland waters of rivers and lakes, which is executed in real time. Bionic mechanical fish can provide a more natural swimming mode and higher monitoring efficiency. Therefore, bionic mechanical fish have attracted the attention of researchers due to their ability to effectively mimic the shape of a fish and the possibility of autonomous swimming [1]. The report presents the results of the design development and the study of the effectiveness of the movements of the bionic robot.

This study also focused on the development of a bionic mechanical fish management system, investigating the mode and mechanism of swimming of freshwater fish. During the study, the white Amur fish was chosen as a prototype, which has many advantages and a particularly effective shape of the caudal fin. It is the caudal fin that plays a key role in the efficiency and traction power of movement.

Special attention was paid to the design of its fins and tail to simulate the movement of a real fish in the water. To reduce the water resistance, from a hydrodynamic point of view, and enhance the efficiency of the robot's use in water, dynamics modeling was conducted using the finite element method on the CAE system COMSOL. To take many conditions and limitations in the design of the case into account, CAD/CAM/CAE tools of the Catia v5 system were applied. In Catia, the dimensions and shapes of each part of the robot are precisely constructed. By simulating various hydrodynamic conditions, the performance of each part of the robot has been predicted and optimized to ensure that it effectively and accurately simulates the movement of a real fish. Figure 1 shows a simplified design of the fish robot. There are circuit boards and a battery inside the case. The case itself was fabricated by using a computer model on a 3D printer using FDM technology (deposition modeling). The tightness of the hull and its underwater balance have been investigated.

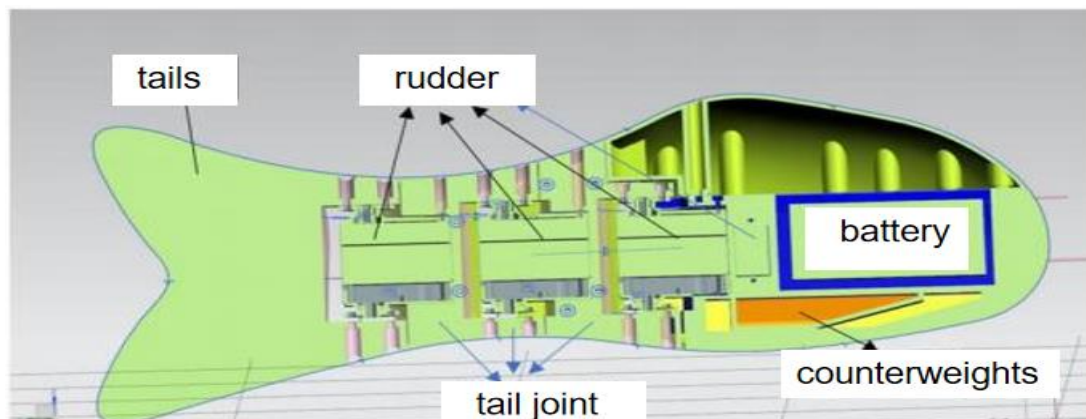


Fig. 1. - The design of a bionic fish robot.

The design of the robot's drive device includes a mechanism for driving the tail fin and a mechanism for turning the tail fin, which provides about 70% of the traction power of the fish movement. A series of modules with multiple steering mechanisms has been developed, which simplified the mechanical structure of the robot. Several servos are connected in series, each simulating a connection. The movement of each servo is controlled by a pulse width modulation chip, aiming to increasing control flexibility.

The robot's control system consists of nine parts, including a power interface, a step-down and stabilization module, a drive module and a steering expansion module, a power display module, interfaces, a chip and a serial communication port.

Experimental data showed: - the maximum elevation angle —  $11.74^\circ$ , the actual single orientation —  $5.79^\circ$ , the mechanical fish swims 135 cm in 10.2 seconds and the swimming speed is 0.13 cm/s. Mechanical rotation of the fish by  $180^\circ$  covers 12 seconds with a turning radius of 45 cm and an angular rotation speed of 15 %/s. Figure 2 shows a fragment of experiments in an artificial pool. The necessary experiments have also been carried out in conditions of natural reservoirs. The collected water quality parameters are transmitted to the main computer via a wireless sensor network, which allows you to monitor water quality in real time.



Fig. 2. - Conducting experiments in an artificial reservoir.

The study has made significant progress in achieving constructive similarity with live fish and imitation of its swimming function. The robotic fish mimics the swimming behavior of a natural fish using a control method that combines the use of pectoral and caudal fins, allowing it to perform automatic swimming and avoid obstacles in a natural aquatic environment. Thus, a new bionic fish robot has been developed, which makes it possible to abandon traditional methods of monitoring water quality. It has its own characteristics and parameters that meet modern requirements. Further research is focused on the development of intelligent systems and technologies for controlling robot fish, the creation of autonomous robots using the latest chips, sensors and solar panels.

#### References

1. Chen Xing, Wen Binzhong, Tian Xinliang, Sun Shuye, Wang Peng, Li Xin, Kinematic and hydrodynamic modeling of a wire-driven robotic fishtail: an experimental study[J], Ocean Engineering 284 (2023), 115204.

UDC 004.415

**Khrystyna Borodkina, student**  
**Andrii Pavlyshko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor**  
**Andrii Shakulia, graduate student**  
Odesa Polytechnic National University, borodkina.8865143@stud.op.edu.ua

#### EXPLORING IMMERSIVE LANDSCAPES: TERRAIN DEVELOPMENT IN UNITY

Terrain development in Unity is crucial for creating immersive game environments that offer players unique and captivating experiences. Effectively utilizing terrain development tools allows for the realization of diverse landscape forms, fostering a sense of realism and providing ample opportunities for in-game exploration [1]. This approach helps to expand game design possibilities and ensure deeper player immersion in virtual worlds.

To initiate the creation of terrain in 3D game within the Unity environment, navigate to the Hierarchy panel and follow these steps:

Go to Hierarchy > Create > 3D Object > Terrain.

Once the Terrain object is created in the Hierarchy, access its Inspector properties to edit various aspects of the terrain (Fig.1).

Utilize the following functions accessible through the Inspector:

Print Terrain: Generates a physical representation of the terrain.

Switch Controls: Alter control settings by selecting options from the dropdown menu named 'Create Neighbor Terrains'.

Adjust Terrain Height. Use controls to raise or lower the terrain elevation.

Texture Painting. Apply textures to the terrain surface.

Define Terrain Height. Set specific height levels for different parts of the terrain.

Smooth Terrain. Employ smoothing techniques to refine the terrain's surface.

Stamp Terrain. Apply predefined terrain formations or patterns.

By employing these features, developers can efficiently sculpt and customize the terrain within their 3D game environment, enhancing the overall gaming experience."

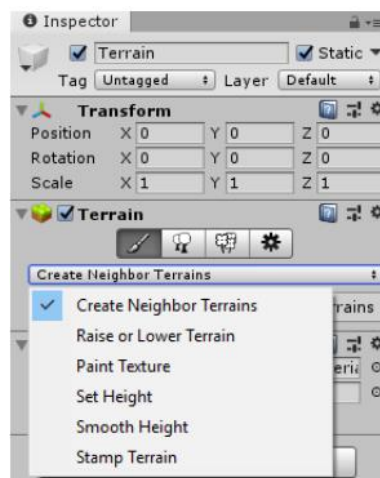


Fig.1 - Inspector properties of the Terrain

In order to paint textures onto a terrain surface in a 3D game environment using Unity, follow these steps:

Ensure that the texture image is located in the designated 'Textures' folder within the project.

To begin painting, it is necessary to create a terrain layer. This can be achieved by accessing the Terrain Inspector and navigating to Terrain > Paint Texture Menu > Edit Terrain Layers > Create Layer.

Select the desired texture from the available options and assign it to the newly created layer [2].

Multiple layers can be added to enable the incorporation of additional textures and colors, allowing for their seamless overlay and combination.

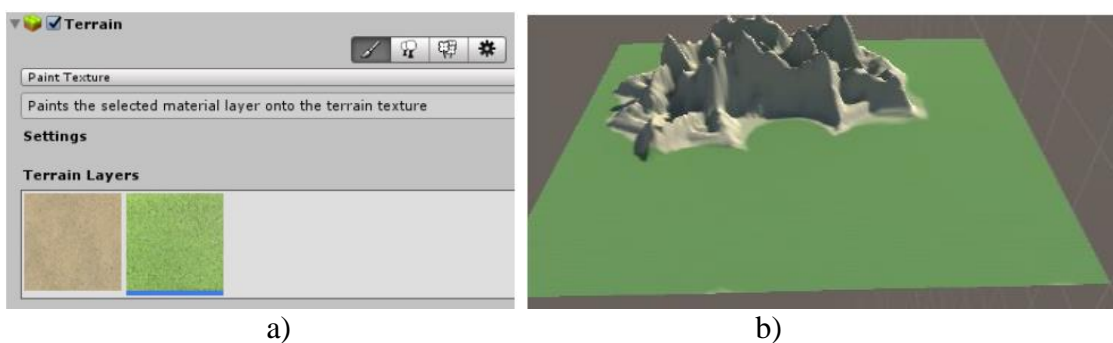


Fig.2 – Settings a) and Final look b) of the Terrain

### References

1. Smith, J. Unity Terrain Painting Guide: Enhancing Your 3D Game Environments. Game Development Journal, 2019, 15(2), 45-58.

2. Johnson, A. Creating Realistic Terrains in Unity: A Comprehensive Tutorial. *Virtual Worlds Research Quarterly*, 2020, 8(3), 112-127.

UDC 621.385.6

**Nimych O.V., PhD-candidate of Software engineering department**  
The National Aviation University, aleksei.nimich@gmail.com  
**Ihor Makieiev, PhD-candidate of Software engineering department**  
The National Aviation University, 8390988@stud.nau.edu.ua

## **AERODYNAMIC HEATING AND DIELECTRIC LAYER BEHAVIOR IN FLAT FAIRING ANTENNAS**

At high flight speeds, aerodynamic heating affects radio-transparent fairings (coatings). This phenomenon arises due to air viscosity-induced friction and surface roughness. The intense heat alters the dielectric properties of the fairing material, leading to changes in radio wave transmission conditions.

Therefore, deviations arise between the actual characteristics of the radome-antenna system and the calculated ones, introducing additional errors in signal processing. This issue becomes particularly critical in digital signal processing scenarios. During various aircraft maneuvers, fluctuations in flight speed and altitude cause dynamic changes in fairing temperature, impacting the system's behavior over time. Consequently, addressing these variations becomes essential for accurate digital signal processing algorithms, especially when dealing with antenna arrays [3].

For example, at different temperatures of heating the fairing wall above the elements of the antenna array, the delay time of the received signals changes, which leads to an increase in the direction-finding errors of the phase direction finders. Obviously, with a change in the heating temperature, the value of the direction-finding error will also change. The goal is to define a four-pole model of a flat dielectric layer during its aerodynamic heating. Representation of the layer in the form of a four-terminal network makes it possible to consider the effect of temperature distribution on the passage of an electromagnetic field through a dielectric layer under various boundary conditions [2].

The paper poses the problem of finding the electro-magnetic field in a flat dielectric layer when a plane electromagnetic wave falls on its surface under conditions of aerodynamic heating. To solve the problem, it is first necessary to determine the distribution of temperature and permittivity over the thickness of the dielectric layer. Further, using the permittivity, we find the dependence of the wave resistance on the thickness and using the wave resistance, we determine the parameters of the equivalent quadrupole. The system of Z-parameters (resistance matrix) was chosen as the system of parameters of the quadrupole [1].

It follows from the dependences that the angular error in determining the arrival of an electromagnetic wave depends not only on the size of the AA base, but also on the temperature of the aerodynamic heating of the dielectric wall of the fairing, the porosity of the dielectric, and the angle of arrival of the wave. From the analysis of the obtained dependencies, it follows:

1. With an increase in the temperature difference between heating the dielectric over various elements of the AR, the angular error increases according to a law close to linear. In this case, with an increase in the angle of arrival of the wave, the angular error also increases.

2. With an increase in the angle of incidence of the wave at a constant porosity, the angular error also increases. In this case, the minimum error is observed at the normal incidence of the wave (the angle of incidence is zero), and the maximum is near the angles of incidence. There are ranges of wave incidence angles at which different porosities correspond to the same angular errors.

For example, when  $\Pi=10\%$ ,  $50\%$  and the angle of incidence rad angular error is 2,8 degrees. Moreover, at rad angular error at porosity  $\Pi=10\%$  exceeds the angular error at  $\Pi=50\%$ , and at radian is the opposite.



3. When changing porosity from 0 to 100% the angular error has three maxima and two minima at different wave incidence angles. The error maxima are concentrated in the ranges of porosity values (5% - 15%), (45% - 55%), (95% - 100%). In other areas of porosity values, we have minimal angular errors.

4. The current state of the theory of aerodynamic heating of a dielectric does not allow establishing clear analytical relationships between the electrical characteristics of a dielectric and such external influencing factors as temperature, pressure, substance density, frequency of an external electromagnetic field.

There are absolutely no prerequisites that make it possible to analytically formalize the temperature dependences  $\varepsilon$  and  $\text{tg}\delta$  dielectrics with a partial change in the phase and state of the material because of high-temperature heating. On the way to solving this complex problem, there are significant theoretical difficulties that have not yet been overcome so far. Available information on temperature dependencies  $\varepsilon$  and  $\text{tg}\delta$  corresponds only to slow temperature changes and does not in any way reflect the properties of the material during thermal heating (pulsed mode of turning the laser beam on and off) or thermal shock [5].

The approach developed in this work is based on the use of the law of thermal conductivity with the distribution of temperature over the thickness of the dielectric layer and the use of the known temperature dependence of the permittivity. The numerical coefficient in is determined by the type of dielectric. In general, with the choice of coefficients A, A1 in formula, one can write an expression for the permittivity of various ceramic materials [5].

The obtained relations, in contrast to the known solutions make it possible to represent the dielectric layer during aerodynamic heating in the form of a four-terminal network with elements of the resistance matrix, which makes it possible to increase the accuracy of calculations of antenna-radome systems for by considering the process of heat distribution over the thickness of the dielectric wall.

The problem of developing a model of a flat dielectric layer of a fairing under aerodynamic heating is solved.

The scientific novelty lies in the fact that for the first time a model of a flat dielectric layer in the form of a four-terminal network was developed, which considers the gradient distribution of heat over the layer thickness. In this case, the four-terminal network is an inhomogeneous transmission line with an exponential change in wave resistance along the thickness and depends on the temperature difference at the boundaries of the dielectric layer.

The practical value of the obtained results consists in increasing the accuracy of calculations of the radome during aerodynamic heating, which makes it possible to design antenna-radome systems for moving objects with the required radiation pattern under conditions of uneven heating of the radome wall. The research results can be used in the development of space communication and navigation systems with increased accuracy characteristics compared to existing analogs [5].

Prospects for further research are related to the development of analog and digital radome-antenna systems with increased angular accuracy, operating under conditions of aerodynamic heating.

### References

1. Seckin Sahin, Niru K. Nahar, Kubilay Sertel. Dielectric Properties of Low-Loss Polymers for mmW and THz Applications. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves* (2019) 40: 557–573 <https://doi.org/10.1007/s10762-019-00584-2>.
2. Chahat N. A mighty antenna from a tiny CubeSat grows. *IEEE Spectrum*. 2018;55:33-37. DOI: 10.1109/MSPEC.2018.8278134.
3. Hafiz Usman Tahseen, Lixia Yang, Xiang Zhou. Design of FSS-antenna-radome system for airborne and ground applications. *LET Communications*. April 2021. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12181>
4. Hou-Yu Li, Chang-Ming Li, Jun-Guo Gao, and Wei-Feng Sun\* Ameliorated Mechanical and Dielectric Properties of Heat-Resistant Radome Cyanate Composites. *Molecules*. 2020 Jul; 25(14): 3117. Published online 2020 Jul 8. doi:10.3390/molecules 25143117

5. Kozlovskiy, V., Kozlovskiy, V., Nimych, O., Klobukova, L., & Yakymchuk, N. (2023). MODEL OF THE FLAT FAIRING ANTENNA DIELECTRIC LAYER WITH AERODYNAMIC HEATING. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13(4), 119–125. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5302>

УДК 658.7:674.017.8

**Білашов К.Ю., аспірант**

Київський національний університет технологій та дизайну, djzimet@ukr.net

## **ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ В ЛОГІСТИЦІ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ГАЛУЗІ ДЕРЕВООБРОБКИ ТА МЕБЛЕВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

У сучасному світі технологічний прогрес та підвищення ефективності виробничих процесів стали ключовими факторами для успіху підприємств у будь-яких галузях виробництва. Інтеграція автоматизації на логістичних складах стає необхідним елементом для забезпечення якості технологічних процесів та систем.

Метою дослідження є оцінка впливу автоматизації на якість технологічних процесів та систем у галузі деревообробки та меблевого виробництва, а також визначення переваг та викликів впровадження автоматизованих систем на логістичних складах у цих галузях.

Завданням дослідження є аналіз сучасного стану автоматизації, вивчення технологічних вимог до логістичних складів у даних галузях виробництва, дослідження потенціалу використання технологій автоматизації на логістичних складах та їх вплив на якість технологічних процесів та систем.

Автоматизація логістичних складів у галузі деревообробки та меблевого виробництва виконує різноманітні функції, що допомагають оптимізувати виробничі процеси. Автоматизовані системи моніторингу та управління складом (WMS) дозволяють автоматично контролювати запаси, відстежувати рух товарів та оптимізувати їх розміщення для максимальної ефективності. Робототехніка, така як автономні транспортні засоби та роботи-компаньйони для підтримки операційного персоналу, можуть бути використані для автоматизації процесів складської логістики, що дозволяє зменшити час виконання завдань та підвищити загальну продуктивність [1]. Подібна автоматизація не лише сприяє швидшому та ефективнішому переміщенню матеріалів, але й забезпечує оптимальне управління запасами та мінімізацію помилок. Автоматизовані системи дозволяють уникнути затримок та недоліків у виробництві, забезпечуючи стабільну та надійну роботу.

Логістичні склади у галузі деревообробки та меблевого виробництва повинні відповідати високим вимогам безпеки, точності та ефективності управління запасами. Застосування цифрових технологій, таких як системи штучного інтелекту та аналітики даних, дозволяє автоматизувати процеси моніторингу та управління запасами, забезпечуючи швидкий доступ до інформації та точне прогнозування попиту. Системи прогнозування попиту на основі аналізу даних можуть допомогти підприємствам планувати запаси, реагувати на зміни попиту на певні види продукції, оптимізувати виробничі процеси та забезпечити ефективну роботу виробничих ліній [2].

Використання систем автоматизації на складах є критично важливим елементом для досягнення високої ефективності та оптимізації логістичних процесів. Ці технології сприяють значному покращенню точності і швидкості обробки замовлень, скороченню часу простою обладнання, а також оптимізації використання просторових ресурсів та оптимальному розміщенню товарів. Завдяки автоматизації можливе надійне відстеження запасів та зменшення витрат на робочу силу [3]. В підсумку, ці технології стають ключовим фактором для досягнення конкурентної переваги в сучасному економічному середовищі, де швидкість, точність та ефективність визначають успіх бізнесу.

Представлено ключові системи для підвищення ефективності роботи логістичних складів, що забезпечують автоматизацію та оптимізацію логістичних процесів для ефективного керування та досягнення стратегічних цілей [4].

**Система управління транспортом (TMS)** є важливим інструментом, яка допомагає в оптимізації маршрутів, відстеженні вантажів та координації транспортних операцій. Ця система сприяє ефективному управлінню логістичними процесами, забезпечуючи точність та ефективність в перевезенні товарів.

**Технологія GPS-моніторингу** базується на точному визначенні координат об'єктів за допомогою системи глобального позиціонування. Це надає можливість точно відстежувати рух вантажів, оптимізувати маршрути та підвищувати загальну ефективність транспортних операцій.

**Система управління складом (WMS)** автоматизує управління бізнес-процесами на складах, включаючи керування запасами, отримання та відвантаження товарів. Система покращує ефективність логістичних процесів, забезпечуючи точний контроль над запасами та оптимізуючи використання складської площі.

**Планування ресурсів підприємства (ERP)** об'єднує управління фінансами, ланцюгом постачання, операціями та іншими процесами. Ця система допомагає в цілісному управлінні різними аспектами процесів на виробництві, що сприяє загальній ефективності.

**Система управління виробництвом (MES)** дозволяє оптимізувати та координувати виробничі процеси. Це сприяє ефективному управлінню виробничими операціями, забезпечуючи їхню координацію та синхронізацію.

Незважаючи на очевидні переваги автоматизації, виникають виклики щодо вартості впровадження новітніх технологій, пошуку відповідних шляхів інвестування цих процесів, необхідності навчання персоналу та підтримки технічної інфраструктури. Перехід до автоматизованих систем може вимагати значних фінансових та часових затрат на їх інтеграцію в процеси підприємства, але в результаті це призводить до значного підвищення ефективності та якості роботи всього підприємства. Розробка стратегій для подолання цих викликів є ключовою для успішного впровадження автоматизації та підвищення конкурентоспроможності підприємств у даних галузях.

Впровадження сучасних систем управління транспортом (TMS), систем управління складом (WMS), GPS-моніторингу та інших технологій дозволяє підвищити ефективність логістичних процесів [5]. Ці технології дозволяють підвищити ефективність та точність виконання завдань на складах, зменшуючи час та витрати на операції, час простою обладнання, а також зменшити час обробки замовлень, оптимізувати маршрути доставки та підвищити загальну якість обслуговування клієнтів.

#### Список посилань

1. Подра О.П. Сучасні технології автоматизації складської діяльності підприємств / Подра О.П., Гомза К.І. // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. – № 2 (8), 2022. – С. 70–78.
2. Костюк О.С. Ефективне функціонування складської системи підприємства / Костюк О.С., Гринів Н.Т., Крук М.В. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2010. – №691: Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – с. 59–65.
3. Комарницький І. Механізми формування логістичних центрів / Комарницький І., Питуляк Н., Когут І. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2007. №9(582). – С. 190-196.
4. Колісніченко А.В. Підвищення ефективності логістичних процесів шляхом автоматизації управління логістичним підприємством в умовах цифрової трансформації / Колісніченко А.В., Семенова А.О. // POLIT. Challenges of science today, 5-9 April 2021. – С. 49-50. – Національний авіаційний університет, Київ.
5. Овчаренко А.Г. Оцінювання якості логістичного обслуговування споживачів / Овчаренко А.Г. // Економіка транспортного комплексу, вип. 35, 2020. – С. 160 –176. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет).

Самчук Л.М., канд. техн. наук  
 Повстяна Ю. С., канд. техн. наук  
 Міронов Н. О., здобувач вищої освіти  
 Луцький національний технічний університет, [Samchuk204@gmail.com](mailto:Samchuk204@gmail.com)

## ВИКОРИСТАННЯ UML ДІАГРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ РОБОТА В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Дистанційний контроль роботів у реальному часі – це комплексний процес, який включає в себе розробку та інтеграцію різноманітних технологій для забезпечення ефективного управління роботизованими системами на відстані. Використання автоматизації контролю роботів та виконання ним операційна відстані дає широкий спектр переваг, від підвищення ефективності до мінімізації людських помилок.

Уніфікована мова моделювання (UML) використовується для аналізу, специфікації та проектування систем програмного забезпечення. Вона дає можливість аналітику або розробнику описати сценарій або сформулювати архітектуру, а потім повідомити про ці рішення іншим [1].

Дистанційний контроль роботів у реальному часі надає операторам можливість віддалено керувати діями роботів та їхніх інструментів, що дозволяє виконувати різноманітні завдання в небезпечних, важкодоступних або віддалених середовищах. Процес дистанційного контролю розглядається як система, що складається з робота та його контролера (сервопривода), і його функція – виконання завдання. Як видно із рисунка 1 - діаграми прецедентів для процесу дистанційного контролю робота в реальному часі, UML надає можливість ефективно та наглядно представляти в графічному форматі процеси, що відбуваються під час контролю робота оператором в реальному часі.

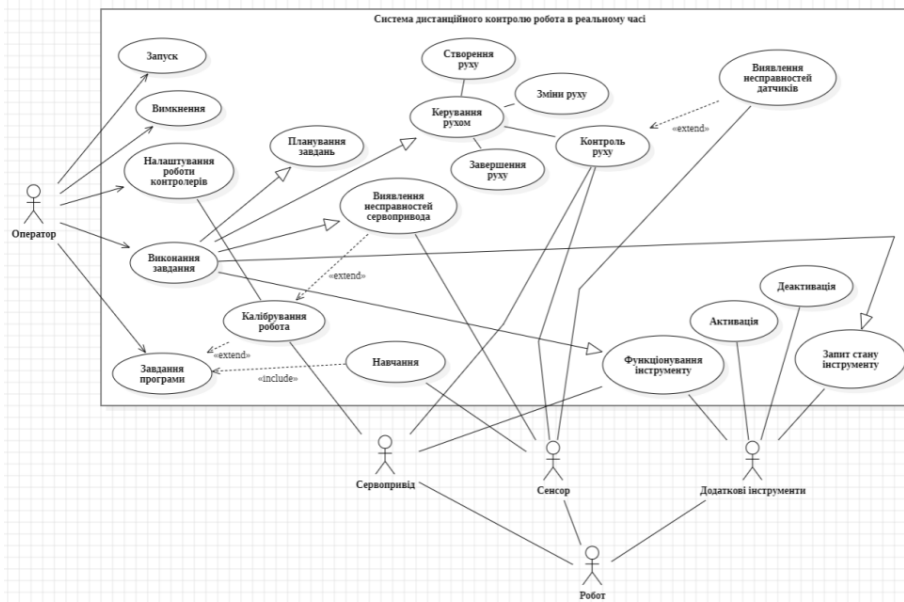


Рис. 1 – Діаграма прецедентів для процесу контролю робота в реальному часі

Отже, дистанційний контроль роботів у реальному часі представляє собою передову та перспективну технологію, яка дозволяє безпечно та ефективно управляти складними роботизованими операціями в широкому спектрі середовищ.

### Список посилань

1. Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle., Bobbi J. Young, Ph.D., Jim Conallen, Kelli A. Houston. Object-Oriented Analysis and Design with Applications. 2019. P. 717.

УДК 004.934.2

Красько Б.В., аспірант

Грицюк П.М., докт. екон. наук, професор

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

## ОПТИМІЗАЦІЯ МАСШТАБУВАННЯ AMAZON EC2 ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Вступ.** Хмарне обчислення вимагає ефективного масштабування ресурсів для забезпечення продуктивності та економічної ефективності застосунків. Amazon EC2, один з популярних сервісів, надає можливості створення та запуску віртуальних машин з автоматичним масштабуванням, базованим на метриках, таких як CPU або пам'ять. Однак цей підхід має свої обмеження, такі як затримки та складнощі налаштування правил.

Використання штучного інтелекту для прогнозування навантаження та автоматичного масштабування ресурсів може значно покращити ефективність використання ресурсів, уникнути надмірних витрат або недостатності ресурсів. Застосування ШІ для масштабування EC2 дозволяє підвищити продуктивність, зменшити витрати та покращити якість обчислювальних середовищ шляхом автоматизації процесів реагування на зміни навантаження та використання передбачуваних стратегій масштабування.

Використання штучного інтелекту для масштабування EC2 також допомагає забезпечити стабільність та надійність застосунків у хмарних середовищах. Це досягається завдяки адаптивним стратегіям масштабування, які дозволяють системі реагувати на зміни в навантаженні та ефективно розподіляти ресурси для забезпечення оптимальної продуктивності. Такий підхід сприяє зниженню ризику виникнення проблем з доступністю та забезпечує безперервну роботу застосунків, що є критичним для бізнесу в сучасному цифровому середовищі.

**Викладення основного матеріалу.** Автоматичне масштабування ресурсів у хмарних сервісах, зокрема в Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud), визначається як ключова задача для забезпечення високої продуктивності та економічної ефективності застосунків. Цей процес полягає в автоматичному збільшенні або зменшенні обсягу обчислювальних ресурсів, таких як віртуальні машини, в залежності від попиту або інших факторів навантаження.

Хоча використання правил для автоматичного масштабування є поширеним підходом, але є свої недоліки. Одним із найбільш відчутних є затримки в реагуванні. Перед тим як масштабування відбудеться, системі потрібно зібрати достатньо даних для прийняття рішення, що може призвести до збільшення часу від виникнення потреби в масштабуванні до його фактичного виконання.

Крім того, складність налаштування правил також може ускладнити процес автоматичного масштабування. Налаштування вимагає ретельного аналізу та розуміння характеристик додатка та його робочого навантаження, а також врахування потенційних сценаріїв збільшення або зменшення обсягу ресурсів [1].

Штучний Інтелект (ШІ) відіграє важливу роль у вирішенні цих проблем. Він може застосовувати різні методи машинного навчання та глибокого навчання для аналізу історичних та поточних даних про навантаження, а також для генерації точних прогнозів майбутнього навантаження. Це дозволяє рекомендувати оптимальні стратегії масштабування для кожного інстансу або групи інстансів.

Зокрема, алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати величезні обсяги даних та виявляти закономірності в їхньому змішанні. ШІ може виявляти патерни та тренди у зростанні або спаді навантаження на систему з часом, що дозволяє приймати інформовані рішення щодо масштабування інфраструктури [2].

Одним зі способів застосування ШІ для прогнозування навантаження є аналіз історичних даних про використання ресурсів, на основі якого можна побудувати моделі для передбачення майбутнього навантаження. Використання нейронних мереж є ще одним перспективним підходом, оскільки вони можуть ефективно вивчати складні залежності між різними факторами, що впливають на навантаження, і генерувати точні прогнози.

Основною перевагою використання ШІ для масштабування EC2 є автоматизація процесу, що зменшує необхідність ручного втручання. Це дозволяє системі автоматично адаптувати ресурси згідно з прогнозами, вивільняючи час та ресурси користувачів для інших завдань.

Використання штучного інтелекту в масштабуванні Amazon EC2 на основі прогнозування навантаження може значно покращити ефективність, стабільність та надійність хмарних обчислювальних середовищ, дозволяючи користувачам максимально використовувати ресурси за оптимальних умов [3].

Серед безлічі переваг використання Штучного Інтелекту для масштабування Amazon EC2 особливо важливою є можливість інтеграції з іншими функціональними можливостями цієї платформи. Це означає, що користувачі отримують доступ до ще ширшого спектру інструментів і функцій, які допомагають оптимізувати їхні сервіси. Наприклад, за допомогою Штучного Інтелекту можна автоматизувати процеси моніторингу та управління віртуальними серверами, що дозволяє забезпечити більш ефективне використання ресурсів та знизити витрати на обслуговування інфраструктури. Крім того, завдяки інтеграції з іншими інструментами та сервісами Amazon, користувачі можуть отримати доступ до розширених аналітичних засобів, систем моніторингу та управління конфігураціями, що дозволяє їм більш точно налаштувати свої сервіси під конкретні потреби та вимоги. Такий підхід дозволяє підвищити продуктивність та надійність роботи сервісів, а також сприяє швидшому реагуванню на зміни в навантаженні та попиті користувачів. У підсумку, інтеграція Штучного Інтелекту з Amazon EC2 створює потужний інструмент для оптимізації та автоматизації інфраструктури хмарних обчислень, що дозволяє користувачам зосередитися на розвитку своїх бізнес-проектів [4].

**Висновки.** Штучний Інтелект (ШІ) стає не лише ключовим, але й незамінним фактором в оптимізації та ефективному управлінні хмарними обчислювальними ресурсами, зокрема в Amazon EC2. Автоматизація за допомогою ШІ дозволяє не лише реагувати на зміни навантаження в реальному часі, а й передбачати їх, що дозволяє ефективно розподіляти ресурси та уникати перевитрат ресурсів.

Інтеграція ШІ в масштабування Amazon EC2 відкриває шлях до нових інновацій та можливостей. Розробники та компанії можуть використовувати ці можливості для створення більш ефективних та стабільних сервісів для своїх користувачів. Постійний моніторинг, аналіз та оптимізація ресурсів за допомогою ШІ дозволяють не лише підтримувати високу продуктивність, а й зменшувати витрати та ризики.

#### Список посилань

1. Duan, J., Ma, Z., Prodan, R., & Fahringer, T. (2018). A Survey on Automated Elasticity Techniques for Cloud Applications. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(2), 1-35.
2. Gandomani, T. J., & Patan, K. (2017). Cloud resource provisioning algorithms: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 78, 1-25.
3. Duan, J., Ma, Z., Prodan, R., & Fahringer, T. (2018). A Survey on Automated Elasticity Techniques for Cloud Applications. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(2), 1-35.
4. Li, H., Wang, W., Huang, M., & Yang, X. (2019). A Survey of Cloud Resource Autoscaling. *IEEE Access*, 7, 460-478.
5. Mazzucco, M., Dumas, M., & Garcia-Banuelos, L. (2017). A Review of Autoscaling Techniques for Elastic Applications in Cloud Environments. *IEEE Transactions on Services Computing*, 10(2), 278-290.

УДК 621.314:621.396.66

**Яворський І.М., докт. фіз.-мат. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com)

Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща, [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Юзефович Р.М., докт. техн. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

Національний університет “Львівська політехніка”, [roman.yuzefovych@gmail.com](mailto:roman.yuzefovych@gmail.com)

**Комарницький Б.М., аспірант**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, [kombodia@ukr.net](mailto:kombodia@ukr.net)

**Личак О.В., канд. техн. наук, старший дослідник**

**Мацько І.Й., канд. техн. наук, старший науковий співробітник**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

## **ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ОБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ МАШИНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Досліджуючи вібраційні сигнали обертових вузлів механічних обертових систем слід вивчати їх кореляційні функції та спектральні густини потужності. На даний час багато дослідників припускають, що вібраційний сигнал є випадковим стаціонарним процесом і тому, всі обчислення проводять у стаціонарному наближенні. Дослідження проведені у відділі методів та засобів відбору й обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, показали, що використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодично нестаціонарних випадкових процесів (ПНВП) відкриває нові можливості для діагностики дефектів обертових механізмів, у тому числі на ранніх стадіях їх виникнення [1–3]. У таких моделях вібраційний сигнал розглядається як сума детермінованої, стаціонарної та нестаціонарної випадкових складових. Детермінована складова описує загальний стан механізму, зокрема розбалансованість, неспіввісність, еліптичність валів тощо. Стаціонарна складова описує фонові шуми, що виникають в системі, а нестаціонарна обумовлена дефектами елементів, що є в динамічній системі [1]. При вирішенні задач вібраційної діагностики доцільно використовувати методи нестаціонарного аналізу ПКВП, а також, для встановлення видів та типів дефектів, доцільно проводити взаємний кореляційний та спектральний аналізи сигналів, виміряних в різних точках відбору [4].

Поява дефектів в елементах вузлів механічної системи призводить до того, що вібраційні сигнали набувають властивостей періодичної нестаціонарності 2-ого порядку і можуть бути описані у вигляді ПНВП. Застосування нестаціонарного підходу до аналізу вібраційних сигналів дозволяє виявляти дефекти вузлів механізмів на ранніх стадіях їх зародження, що в свою чергу дозволяє попереджувати аварійні ситуації.

### **Список посилань**

1. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, 2013. – 804 с.
2. Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Trokhym G., Varyvoda M. Methods of periodically non-stationary random processes for vibrations monitoring of rolling bearing with damaged outer race // Digital Signal Processing: A Review Journal. – 2024. – 145–104343.
3. Р. Юзефович, О. Личак, П. Курапов, М. Варивода, І. Яворський Дослідження технічного стану механізмів з використанням методів періодично корельованих випадкових процесів // XXI Міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи”. – Київ : НТУ України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, 2022. – с. 196–198.
4. Javorskyj I., Yuzefovych R., Lychak O., Slyepko R., Semenov P. Detection of distributed and localized faults in rotating machines using periodically non-stationary covariance analysis of vibrations. // Measurement Science and Technology. – 2023. – 34. – 065102.

УДК 678.4:539.3

**Черчик Г.Т., пров. інженер**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

[hcherchyk@gmail.com](mailto:hcherchyk@gmail.com)

Національний університет “Львівська політехніка”, [hennadii.t.cherchyk@lpnu.ua](mailto:hennadii.t.cherchyk@lpnu.ua)

**Яворський І.М., докт. фіз.-мат. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com)

Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща, [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Личак О.В., канд. техн. наук, старший дослідник**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

**Слепко Р.Т., докт. філософії**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, [roma.srt@gmail.com](mailto:roma.srt@gmail.com)

**Юзефович Р.М., докт. техн. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

Національний університет “Львівська політехніка”, [roman.m.yuzefovych@lpnu.ua](mailto:roman.m.yuzefovych@lpnu.ua)

## СПОСІБ ПОНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОПОРИ КОНСТРУКЦІЙ

На даний час основним засобом боротьби з вібрацією є бар’єрна віброізоляція. Принцип її роботи оснований на відбитті, розсіюванні та дифракції акустичних хвиль, зокрема у багаторазовому розсіюванні пружних хвиль на декількох неоднорідних тілах – тобто між джерелом вібрації і захищеною стіною встановлюється віброізоляційний бар’єр для блокування поширення хвильової енергії, особливо поверхневих хвиль. Існують два типи бар’єрів: суцільні і розривні. Суцільні включають порожні траншеї, траншеї заповнені бентонітовою глиною або золою тощо, а розривні – ряди шурфів, бетонні однорядні та багаторядні палі. З точки зору механізму віброізоляції, найкращим ефектом є використання порожнистої траншейної ізоляції, яка забезпечує поглинання хвильової енергії. Однак, оскільки порожні траншеї легко руйнуються, мають низьку довговічність і займають багато місця, вони вкрай рідко використовуються в реальних проектах.

Розроблений і запропонований спосіб демпфування вібрацій для пониження навантаження на опори конструкцій (фундаменти) у ґрунтах. Цей спосіб може бути реалізований у вигляді пустотілого бар’єра з бетонними стінками, додатково містити бетонну плиту розміщену на шарнірних опорах між стінками бар’єра, шари бентонітових кульок розміщені на дні бар’єра по обидва боки від цієї додаткової плити та рухомі пружні плити з еластичними прошарками розміщені по обидва боки між цією додатковою бетонною плитою та стінками бар’єра. Рухомі пружні плити з еластичними прошарками, які розміщені по обидва боки додаткової бетонної плити, можуть пересуватися вздовж цієї плити і фіксуватися в певних положеннях, що дозволяє, з урахуванням можливості зміни форми, геометричних параметрів і механічних властивостей шарів, здійснювати прецизійне налаштування регульованого пристрою для демпфування вібрації на задану робочу частоту з одночасним забезпеченням його оптимальних демпфуючих властивостей. Додатково інтенсивність демпфування можна регулювати шляхом підбору механічних властивостей матеріалів окремих шарів рухомих пружних плит, а також шляхом зміни їх форми та геометричних параметрів.

### Список посилань

1. Пат. на корисну модель. Пристрій для демпфування вібрації у ґрунтах / Г.Т. Черчик, Б.М. Дівеєв, Р.М. Юзефович; власник Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України. – № u 2023 00582, заявл. 15.02.2023.

2. Патент CN 110700330A. Ground barrier vibration damping device, E02D31/08; F16F13/00, 2020.



УДК 621.875.56

**Семенов П.О., канд. техн. наук, доцент**

Одеський національний морський університет, м. Одеса, [p.a.semenoff@gmail.com](mailto:p.a.semenoff@gmail.com)

**Яворський І.М., докт. фіз.-мат. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com)

Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща, [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Личак О.В., канд. техн. наук, старший дослідник**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

[olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

**Юзефович Р.М., докт. техн. наук, професор**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

Національний університет “Львівська політехніка”, [roman.m.yuzefovych@lpnu.ua](mailto:roman.m.yuzefovych@lpnu.ua)

**Комарницький Б.М., аспірант**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [kombodia@ukr.net](mailto:kombodia@ukr.net)

## **ПЕРЕВАГИ ВІБРАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ**

Аналіз вібраційного стану механізмів порталних кранів є важливим етапом в процесі їх експлуатації. Такі крани є складними механізмами великого розміру, що виготовлені зі сталі з рознесеними віддаленими конструктивними елементами зі зворотньо-поступальними, обертовими, рівномірними чи нерівномірними рухами, а це ускладнює застосування існуючих методів неруйнівного контролю та діагностики. Процес діагностування кранів та визначення їх вібраційного стану визначається рядом нормативних документів [1–6].

До основних переваг вібраційних методів при діагностиці механізмів порталних кранів можна віднести наступне:

а) процес діагностування відбувається в процесі роботи досліджуваного об'єкту без спеціальних відхилень від процесу нормальної експлуатації, що значно підвищує об'єктивність та достовірність досліджень;

б) виявляються та класифікуються не лише поверхневі дефекти, але й приховані дефекти в глибині механізмів;

в) проводиться дослідження технічного стану віддалених чи важкодоступних елементів конструкції механізмів навіть при розміщенні датчиків на інших, доступніших конструктивних елементах за рахунок поширення вібраційних коливань у сталевих конструкціях (слід зауважити, що цього часто не можна досягнути використовуючи магнітні, електромагнітні, акустичні методи, котрі є виключно локальними);

г) датчики вібросигналів прості в кріпленні та монтажі, не потребують застосування спеціальних звуко- чи магнітопроводів;

д) чутливі до високочастотних акустичних коливань, що дозволяє суттєво розширити ефективність діагностики.

### **Список посилань**

1. ДСТУ ISO 4310-94. Крани вантажопідіймальні. Правила і методи випробувань.
2. ДСТУ ISO 10816-1. “Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертових частинах. Частина 1. Загальні вимоги”.
3. ДСТУ ISO 10816-3. “Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертових частинах. Частина 3. Промислові машини номінальною потужністю більше 15 кВт і номінальними швидкостями від 120 до 15000 об/хв на місці експлуатації”.
4. ISO 9927-1:2009. Cranes. Inspections. Part 1: General. Second edition 2009-01-15.
5. ISO 9927-5:2017(Main). Cranes. Inspections. Part 5: Bridge and gantry cranes, including portal and semi-portal cranes and their supporting structures.
6. ASME B30.2-2022: Overhead and Gantry Cranes.

УДК 004.9

Мельник А.М., бакалаврант  
Мелешко Є.В., докт. техн. наук, професор  
Ткачук Р.О., аспірант  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
elismeleshko@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА КОРИСТУВАЧІВ У КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ

Розробка інструментів для вимірювання психологічного впливу на користувачів комп'ютерних ігор стає важливим етапом у процесі їх створення. Впровадження нових методів вимірювання такого впливу дозволить розробникам краще розуміти потреби та вподобання гравців, сприятиме створенню кращого та більш безпечного ігрового досвіду.

На жаль, багато розробників аналізують гру тільки з метою максимізації свого прибутку, замість того, щоб дбати про позитивний вплив на гравців. Психологічні впливи відеоігор на гравців бувають двох видів – *негативні* та *позитивні* [1-2].

*Приклади негативних впливів на гравців відеоігор.* Люди, які часто грають у комп'ютерні ігри можуть поводити себе більш агресивно, втрачати інтерес до звичайних речей; діти – можуть мати поведінкові проблеми [3]. Залежність від ігор й втрата цікавості до реального світу.

*Приклади позитивних впливів на гравців відеоігор.* Ігри – чудовий інструмент для навчання. Існують ігри-симуляції, які навчають виконувати дії без шкоди реальному світу. Таким чином користувач може навчитись різним видам діяльності без залучення офлайн-інструментів. Відеоігри можуть бути формою зняття стресу, розвивають швидкість рук, увагу та посидючість, можуть покращити навички критичного мислення тощо.

Існуючі інструменти для вимірювання впливу відеоігор на користувачів:

– **Аналіз даних гравців.** Використання аналітики для збору та аналізу даних про поведінку гравців в грі. Це може включати моніторинг часу гри, дії гравців, досягнення та інші метрики, які показують залученість користувача в гру.

– **Онлайн-опитування.** Проведення опитувань серед гравців для збору їхньої думки та вражень від гри. Це дозволяє отримати прямий зворотний зв'язок від гравців щодо їхніх вражень та переживань. Наприклад, в онлайн-сервісі Steam крім покупки ігор можна також подивитись рецензії на них та обговорення від користувачів.

– **Біометричні вимірювання.** Використання біометричних даних, таких як серцевий ритм, показники шкіри, мозкова активність тощо, для вимірювання емоцій та реакцій гравців під час гри.

– **Тестування ігор з реальними користувачами.** Проведення тестування прототипів або релізних версій гри з реальними гравцями для оцінки їхнього враження від геймплею та ідентифікації можливих покращень.

– **Дослідження психологічних реакцій** та їх автоматизована статистична обробка для вивчення впливу гри на мотивацію, емоції, соціальну взаємодію гравців тощо.

### Список посилань

1. Експерти розповіли, чому люди грають в комп'ютерні ігри і коли це стає небезпечно [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://suspilne.media/161971-eksperti-rozpovili-comu-ludi-graut-v-komputerni-igri-i-koli-ce-stae-nebezpecno/>.

2. Комп'ютерні ігри. Користь і шкода [Електронний ресурс] // <https://rivnepost.rv.ua/news/kompyuterni-ihri-korist-i-shkoda>. – 2019.

3. Позитивний та негативний вплив відеоігор [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://kidslox.com/ua/guide-to/positive-and-negative-effects-of-video-games/>.

УДК 004.9

Ладоця В.Г., магістр  
Мелешко Є.В., докт. техн. наук, професор  
Якименко М.С., канд. техн. наук, доцент  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
elismeleshko@gmail.com

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ВЕБ-СЕРВІС ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ МЕТОДОМ ІНТЕРВАЛЬНИХ ПОВТОРЕНЬ

Через стрімке збільшення попиту на дистанційне навчання в останні роки освітні онлайн-платформи почали займати основну частину ринку навчального програмного забезпечення. Одними з найпопулярніших платформ дистанційного навчання є онлайн-платформами вивчення іноземних мов [1] та насамперед англійської, як мови міжнародного спілкування.

*Інтервальні повторення* – це ефективний метод для вивчення та запам'ятовування інформації [2]. Ця методика ґрунтується на принципах когнітивної психології та полягає в систематичному повторенні матеріалу з певними інтервалами часу між повтореннями [3]. Основною ідеєю інтервальних повторень є те, що інформація краще закріплюється в пам'яті, якщо користувач повторює її в точно визначені моменти, коли пам'ять починає слабшати, але ще не забувається повністю [4, 5]. Методика інтервальних повторень передбачає поділ матеріалу на невеликі порції та розподілення їх у часі таким способом, щоб користувач повторював ці порції перед тим, як вони забудуться повністю. Зазвичай ці інтервали збільшуються з кожним наступним повторенням. Це означає, що користувач повторює інформацію через дедалі довші періоди часу, коли він усе ще пам'ятає її добре, і зменшує інтервали, якщо він має труднощі в запам'ятовуванні.

*Метою роботи* є розробка та програмна реалізація веб-сервісу для вивчення англійської мови.

Веб-сервіс для вивчення англійської мови за допомогою флеш-карток і методу інтервальних повторень було створено з розділенням на декілька функціональних блоків, які дозволяють реалізувати загальний функціонал запропонованої системи: додавання флеш-карток, редагування флеш-карток, вивчення флеш-карток, статистика навчання, налаштування, метод повторення та керування профілем користувача.

Для побудови системи було обрано такі засоби:

- мова програмування Kotlin та середовище розробки IntelliJ IDEA;
- фреймворк Spring Boot для створення основного каркасу системи;
- фреймворк Vaadin для створення веб-інтерфейсу користувача;
- база даних H2 для зберігання усієї введеної інформації;
- фреймворк Hibernate як інтерфейс взаємодії з базою даних;
- інструмент збирання та автоматизації Gradle для компіляції та збирання системи, керування усіма версіями підключених бібліотек.

Проект системи може бути розділений на декілька структурних компонентів, кожен з яких відповідає за певну функціональність:

### 1. Клієнтська частина (Vaadin):

- Створює веб-інтерфейс для користувача за допомогою Vaadin.
- Генерує запити до серверної частини, коли користувач взаємодіє з веб-інтерфейсом.

### 2. Серверна частина (Spring Boot):

- Виконує роль веб-серверу та обробляє запити, надіслані від Vaadin.
- Обробляє HTTP-запити та взаємодіє з базою даних.

### 3. База даних (Hibernate):

- Дані передаються між веб-сервісами та об'єктами доступу до бази даних.

- Робота з базою даних, читанням, створенням, та оновленням записів у базі.
- Система використовує реляційну базу даних H2 в якості вбудованої бази даних. Розроблена система надає наступний функціонал для реалізації інтервальних повторень:
  - **Додавання флеш-карток.** Ця функція дозволяє користувачам додавати нові флеш-картки до системи. Користувачі вводять текст питання та відповіді для кожної картки. Система зберігає ці дані в базі даних для подальшого вивчення.
  - **Редагування флеш-карток.** Дає змогу користувачам редагувати існуючі флеш-картки. Користувачі можуть змінювати текст питань та відповідей. Усі внесені зміни зберігаються в базі даних.
  - **Вивчення флеш-карток.** Використовує алгоритм повторення, що визначає, які флеш-картки виводити. Відображає флеш-картки користувачам. Аналіз відповідей і визначення, коли картку слід повторно показати користувачу.
  - **Статистика навчання.** Збирає, аналізує та відображає статистику навчання користувачів. Інформація про те, скільки разів користувачі відповіли правильно або неправильно. Зворотний зв'язок користувачам про їхні досягнення та прогрес.
  - **Налаштування.** Зміна параметрів системи користувачами під свої потреби. Параметри повторення, режими навчання та інші налаштування.
  - **Алгоритм повторення.** Визначає коли і які флеш-картки повторно виводити користувачам для оптимального навчання. Алгоритм враховує історію відповідей користувача та розподіляє повторення відповідно до методу інтервальних повторень.
  - **Керування профілем користувача.** Реєстрація користувача в системі є початковою точкою для користувачів і гарантує, що їхні дані, налаштування та навчальний прогрес будуть збережені та доступні в системі.

Усі обрані засоби для побудови системи доповнюють один одного та, в результаті, дають змогу швидко створити веб-додаток із зручним веб-інтерфейсом користувача. Фреймворк Spring Boot відповідає за роботу усієї системи, фреймворк Vaadin відповідає за динамічне створення веб-інтерфейсу користувача використовуючи тільки код на Kotlin чи Java. Файлова база даних H2 не потребує виділення окремого серверу, та її швидкодії достатньою для невеликої кількості користувачів, а фреймворк Hibernate дозволяє взаємодіяти з базою даних програмно. За допомогою інструменту збирання Gradle, увесь код пакується у єдиний виконуваний файл з розширенням .jar, який і є готовим веб-додатком, який можна розгортати та використовувати як локально, так і на віддаленому веб-сервері.

Застосування запропонованого методу планування інтервальних повторень дало змогу автоматично оптимізувати інтервали між повтореннями для кожного навчального елемента, забезпечуючи ефективний процес навчання та запам'ятовування, що допомагає швидше поповнювати словниковий запас користувача та дозволяє йому запам'ятовувати більше нових слів англійської мови.

### Список посилань

1. Higgins J. Computer assisted language learning. *Language Teaching*. 1983. Vol. 16(2). P. 102-114. DOI: <https://doi.org/10.1017/S026144480009988>
2. Smolen P., Zhang Y., Byrne J. The right time to learn: mechanisms and optimization of spaced learning. *Nature Reviews Neuro-science*. 2016. Vol. 17, P. 77–88. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn.2015.18>
3. Greene R. L. Repetition and spacing effects. In Roediger H. L. III (Ed.), *Learning and memory: A comprehensive reference. Cognitive Psychology of Memory*, Oxford: Elsevier. 2008. Vol. 2, P. 65–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00168-6>
4. Curve of Forgetting. Campus Wellness, University of Waterloo. URL: <https://uwaterloo.ca/campus-wellness/curve-forgetting> (дата звернення: 27.02.2024)
5. Whelan J. Using the Leitner System to improve your study. *Medium*. 2019. URL: <https://jessewhelan.medium.com/using-the-leitner-system-to-improve-your-study-d5edafae7f0>

УДК 004.738

**Міхав В.В., доктор філософії**

ПУ «Університет науки, підприємництва та технологій», м. Київ,  
mihaw.wolodymyr@gmail.com

**Мелешко Є.В., докт. техн. наук, професор**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
elismeleshko@gmail.com

## **МЕТОД ПОШУКУ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ДАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПРОПОЗИЦІЙ КОРИСТУВАЧАМ ОДНОРАНГОВИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

Класичні моделі рекомендаційних систем розраховані на використання в ієрархічних комп'ютерних мережах [1, 2]. Тому для використання в однорангових комп'ютерних мережах їх треба адаптувати до архітектури цих мереж. Однорангові комп'ютерні мережі мають ряд особливостей, зокрема децентралізоване зберігання даних та постійні динамічні зміни у мережі [4-6], що потребує врахування при розробці програмного забезпечення для них.

З урахуванням особливостей архітектури P2P DHT мереж було запропоновано метод пошуку та фільтрації даних рекомендаційною системою для формування рекомендацій користувачам однорангової децентралізованої комп'ютерної мережі.

Для реалізації рекомендаційної системи у P2P DHT мережі найкраще підійдуть підходи, засновані на колаборативній фільтрації, адже для неї достатньо знати тільки реакцію користувача на контент, що може бути представлена оцінками, лайками або самим фактом завантажень файлів. Вміст файлів, їх назви та інформацію про користувачів знати не обов'язково. Таким чином можна працювати лише з ідентифікаторами файлів, ідентифікаторами користувачів та статистикою завантаження файлів – це все можна отримати при роботі з децентралізованою структурованою одноранговою комп'ютерною мережею. Для представлення даних рекомендаційної системи у пам'яті було використано дві структури даних: розгорнуті зв'язні списки та хеш-таблиці із відкритою адресацією. Розгорнуті зв'язні списки були обрані після проведення експерименту з використанням програмної імітаційної моделі, де тестувалися різні методи зберігання даних рекомендаційної системи [7]. Хеш-таблиці обрані для проміжних обчислень.

Використовувалося два типи списків: 1) асоційовані з користувачем – містять список об'єктів, які він вподобав; 2) асоційовані з об'єктом – містять список користувачів, які вподобали цей об'єкт. Таким чином, використовуються дві копії інформації про вподобання, що збільшує витрати пам'яті, але дає можливість уникати перегляду усіх вподобань для генерації рекомендації та дає можливість врахувати архітектуру P2P DHT мереж. Зокрема, кожен комп'ютер може містити список вподобань асоційований зі своїм користувачем та списки вподобань асоційовані з об'єктами, які на ньому розташовані. Ця інформація доступна для збору кожному комп'ютеру, для цього треба тільки зберігати статистику дій відповідного користувача та статистику завантажень наявних файлів. В такому разі під вподобанням буде розумітися факт завантаження файлу. Якщо впровадити у P2P DHT мережу можливість оцінювання файлів, схема буде трохи складнішою. Доступ до потрібної інформації, яка не розміщена на комп'ютері користувача, якому треба сформувати рекомендації, може бути отримано запитами до інших комп'ютерів за ідентифікаторами, організованими розподіленою хеш-таблицею P2P DHT мережі.

Також було використано хеш-таблиці з відкритою адресацією для збереження проміжних значень, необхідних для генерації рекомендацій, в тому числі для підрахунку кількості входжень елементів. Для цього було реалізовано операцію інкременту, яка працює наступним чином:

1. Здійснюється пошук елемента за ключем.

2. Якщо елемент не існує, створюється новий елемент зі значенням, рівним 1.
3. Якщо елемент існує і має значення -1, то його значення не змінюється, інакше – збільшується на 1.

Такий підхід дає можливість заборонити інкрементувати певні елементи.

Запропонований метод пошуку та фільтрації даних рекомендаційною системою для формування рекомендацій користувачам однорангової децентралізованої комп'ютерної мережі складається з наступних етапів:

**Етап 1.** Створити хеш-таблицю з ідентифікаторами користувачів  $H_u$  та хеш-таблицю з ідентифікаторами об'єктів  $H_f$ . Одержати доступ до розгорнутих списків, асоційованих з користувачами  $L_u$  та асоційованих з об'єктами  $L_f$ , що містять історію дій (завантаження/вподобання).

**Етап 2.** Переглянути список вподобань  $L_{u0}$  користувача  $U_0$ , для якого треба створити рекомендації. Для кожного введеного користувачем  $U_0$  об'єкту створити у хеш-таблиці об'єктів  $H_f$  елемент зі значенням -1.

**Етап 3.** Для кожного користувача, який вповодив один із об'єктів системи, що в  $H_f$  мають значення -1, інкрементувати відповідний елемент у хеш-таблиці  $H_u$ .

**Етап 4.** Для кожного користувача  $U_i$  з хеш-таблиці користувачів  $H_u$ , елемент якого не містить -1, переглянути відповідний список вподобань  $L_{ui}$  та інкрементувати елементи у хеш-таблиці об'єктів  $H_f$ , якщо деякий користувач вповодив відповідний об'єкт.

**Етап 5.** Створити масив  $M_{rec}$  для збереження списку рекомендацій. Для кожного елементу з хеш-таблиці об'єктів  $H_f$ , значення якого не -1, здійснити спробу вставити цей елемент до масиву  $M_{rec}$  у порядку спадання значень. Обрати  $TopN$  рекомендацій з масиву  $M_{rec}$  для показу користувачу  $U_0$ .

Були проведені експерименти для визначення якості роботи запропонованого методу. Як показали проведені експерименти, точність (Precision) запропонованого методу виявилася досить високою і варіювалася у діапазоні  $0,6917 \div 0,8401$  залежно від обраних параметрів системи. Повнота (Recall) розробленого методу, на жаль, виявилася низькою через те, що метод часто робить помилкові негативні прогнози. Це жодним чином не впливає на точність рекомендацій, тому що об'єкти з негативним прогнозом вподобань не потрапляють до списку рекомендацій. Але це погіршує наповненість списків, адже багато елементів, які можна було додати до списків, відсіюються. Повнотою рекомендацій було пожертвовано для адаптації колаборативної фільтрації до архітектури P2P мереж. Середньоквадратична помилка досить низька, її значення варіювалося у діапазоні  $0,3812 \div 0,5372$  і дещо зменшувалося при збільшенні довжини списку рекомендацій.

#### Список посилань

1. Recommender Systems Handbook / Ed. F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc. 2010. 842 p.
2. Jones M. Recommender systems, Part 1. In-troduction to approaches and algorithms. Learn about the concepts that underlie web recommendation engines. 2013. URL: [https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s\\_tact=105agx99&s\\_cmp=cp](https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s_tact=105agx99&s_cmp=cp)
3. Riposo Ju. Diffusion on the Peer-to-Peer Network. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2022. 100 p.
4. Milojevic D. S., Kalogeraki V., Lukose R., Nagaraja K., Pruyne J., Richard B., Rollins S., Xu Z. Peer-to-peer computing. Technical Report HPL-2002-57, HP Labs. 2002. 51 p. URL: <https://www.cs.kau.se/cs/education/courses/dvad02/p2/seminar4/Papers/HPL-2002-57R1.pdf>
5. Kademia: A Design Specification. 2010. URL: <https://xlattice.sourceforge.net/components/protocol/kademia/specs.html>
6. The BitTorrent Protocol Specification. 2017. URL: [http://www.bittorrent.org/beps/bep\\_0003.html](http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html)
7. Міхав В. В., Мелешко Є. В., Якименко М. С., Башченко Д. В. Методи зберігання даних рекомендаційної системи на основі зв'язних списків. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: ПНТУ, 2021. Т. 4(66). С. 59–62. DOI: 10.26906/SUNZ.2021.4.059

УДК 004.42(07)

Жирова Т.О., канд. пед. наук, доцент  
Котенко Н.О., канд. пед. наук, доцент  
Тептюк О.Ю., студент

Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, [zhyrova@knute.edu.ua](mailto:zhyrova@knute.edu.ua)

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЕНТЕРПРАЙЗ СЕРЕДОВИЩІ

Контроль якості відіграє вирішальну роль у забезпеченні якісних характеристик та надійності програмного забезпечення. Він не лише гарантує досягнення встановлених стандартів якості, але й сприяє зміцненню позицій бізнесу на ринку завдяки зростанню рівня задоволення та довіри клієнтів. Організація процесів контролю якості — це не разова активність, а постійна робота. Адаптація та розвиток процесу контролю якості на основі відгуків, зарекомендованих загальних практик та їх адаптації під власні потреби допоможе підтримувати належний рівень якості.

Організація процесів забезпечення якості програмного забезпечення в умовах ентерпрайз середовища, де нові вимоги та очікування клієнтів постійно еволюціонують, потребує інтеграції сучасних підходів та інструментів, що забезпечуватимуть відповідність вимогам в далекій перспективі. В той же час необхідно враховувати властивість такого середовища до змін та закладати можливість адаптації початкової стратегії [2]. Фактори ентерпрайз середовища та складність як існуючих систем задіяних в ентерпрайзі, так і майбутніх систем, що тільки розробляються, мають ключовий вплив на розробку чіткої стратегії тестування, яка включає в себе:

- визначення та впровадження процесів перевірки та забезпечення якості, а також супутніх артефактів;
  - визначення:
    - критеріїв готовності до розробки (DoR) на всіх рівнях змін до функціональності;
    - критеріїв завершеності розробки (DoD) на всіх рівнях змін до функціональності;
    - ключових вимірjuвальних показників;
  - визначення та впровадження необхідного інструментарію для підтримки процесів та створення необхідних артефактів;

Досягнення систематичного забезпечення якості продукту можливо через [3]:

- розуміння вимог проекту;
- розробку комплексної стратегії тестування та її дотримання;
- створення всеохоплюючих комплексних тест планів з набором релевантних тест кейсів;
  - налаштування надійних тестових середовищ;

Ефективна організація контролю якості також передбачає впровадження сучасних практик та фреймворків розробки, таких як Agile та DevOps, які сприяють більш гнучкому та відповідальному підходу до розробки та тестування продукту, надають не лише рамки для швидкого реагування на зміни, а й створюють культуру безперервного вдосконалення та співпраці. Ці підходи забезпечують неперервний зворотний зв'язок та сприяють швидкій адаптації до змінних вимог проекту та зовнішнього середовища. Вони також важливі для підтримки високого рівня співпраці між різними командами – розробниками, тестувальниками та спеціалістами підтримки, що, в свою чергу, підвищує ефективність процесів забезпечення якості та дозволяють ентерпрайз середовищам розглядати контроль якості не як окремий етап розробки, а як інтегрований процес, що пронизує всі рівні проекту/програми проектів.

Важливим аспектом в організації контролю якості є також впровадження комплексної автоматизації тестування, яка охоплює не тільки функціональне тестування, але й навантажувальне, безпекове та інтеграційне. Автоматизація дозволяє значно зменшити час на перевірки та тестування, забезпечити більш високе покриття тестами та підвищити ефективність виявлення помилок. Це також сприяє ранньому виявленню та усуненню дефектів та вразливостей, знижуючи ризики для бізнесу та забезпечуючи високий рівень безпеки програмного продукту [4]. Однак, ключ до успішної організації автоматизованого тестування полягає не лише у виборі правильних інструментів, а й у розумінні, коли та як їх застосовувати для досягнення оптимальних результатів. Важливо, щоб стратегії автоматизації тестування адаптувалися до конкретних потреб та контексту проекту, включаючи тип програмного забезпечення, технологічний стек та бізнес-цілі [1].

Залучення зацікавлених сторін на ранніх етапах процесу розробки є ще одним ключовим елементом успішної стратегії забезпечення якості. Культура співпраці та відкритості, встановлення ефективного діалогу між командами розробки, бізнес-аналітиками, кінцевими користувачами та іншими зацікавленими сторонами дозволяє глибше розуміння бізнес-вимог та очікувань від продукту. Розробка чітких каналів комунікації, створення спільного розуміння цілей якості та визначення спільної відповідальності за результати забезпечить вибудовування продукту, максимально адаптованого до потреб користувачів та ринкових умов.

Нарешті, важливо підкреслити роль постійного професійного розвитку команди забезпечення якості. З огляду на швидкий розвиток технологій та удосконалення фреймворків розробки програмного забезпечення, навчання та розвиток навичок спеціалістів з контролю якості є критично важливими для підтримки високої ефективності процесів тестування. Інвестиції в професійний розвиток команди сприяють не тільки підвищенню якості продукту, але й забезпечують адаптивність бізнесу до постійно змінюваних технологічних трендів та викликів ринку. Постійне навчання, проходження курсів, відвідування вебінарів, здобуття сертифікацій, а також активна участь у спеціалізованих спільнотах надають можливість професіоналам імплементувати у свою роботу передові методології та інструменти контролю якості, а також оперативно відповідати на постійно змінювані умови та виклики.

Таким чином, комплексний підхід до організації контролю якості, який включає постійну адаптацію та вдосконалення процесів на основі зворотного зв'язку, інтеграцію передових методів та інструментів, ефективну комунікацію з усіма зацікавленими сторонами та вклад в розвиток команди, є ключем до успіху у забезпеченні високої якості програмного продукту в енттерпрайз середовищі. Враховуючи складність сучасних програмних систем та вимог до них, тільки такий всебічний підхід дозволить не тільки впоратися з поточними викликами, але й адаптуватися до майбутніх змін, забезпечуючи високу якість програмного забезпечення, задоволення потреб клієнтів та конкурентоспроможність бізнесу на ринку..

#### Список посилань

1. Quality Assurance Strategy for Enterprises: An Introduction Desislava Nikolova leads QA Consultants' Advisory Practice <https://qaconsultants.com/blog/strategy-enterprises-introduction/>
2. Enterprise-wide Quality Assurance Strategy: Timing is Critical Desislava Nikolova leads QA Consultants' Advisory Practice <https://qaconsultants.com/blog/enterprise-wide-quality-assurance-strategy-timing-is-critical/>
3. How to Establish the Right QA Process: A Comprehensive Guide QMetry 15.11.2023 <https://medium.com/@QMetry/how-to-establish-the-right-qa-process-a-comprehensive-guide-7a2c42ca561b>
4. QA Process: A Complete Guide to QA Stages, Steps, & Tools testsigma <https://testsigma.com/guides/qa-process/>



УДК 664:543

Грабовський О.В., канд. техн. наук, доцент, в.о. декана факультету електроніки, автоматизації та метрології

Литвиненко Т.В. аспірант

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, tatiana\_litvinenko@ukr.net

## ПРОБЛЕМИ У СИСТЕМІ ПРОСТЕЖУВАНOSTІ ПІД ЧАС ЕКСПОРТУ ЗЕРНОВИХ. ТЕХНОЛОГІЯ BLOCKCHAIN ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ШАХРАЙСТВА.

Світ змінюється дуже швидко та динамічно. Реалії впровадження новітніх технологій у всіх виробничих сферах говорять нам про те, що ці зміни в обов'язковому порядку будуть стосуватись і агропромислового комплексу.

Тенденція забезпечення простежуваності, прозорості та захищеності ланцюгів постачання харчових продуктів вимагають використання сучасних та надійних технологій.

Одним з таких варіантів, є технологія blockchain.

Інтерес до впровадження технології blockchain у ланцюгах постачання харчових продуктів з'явилися ще у 2016 році [1]. З тих пір цікавість до цієї технології зростає у рази.

Архітектура застосування технології blockchain для ланцюжка постачання будується навколо блоків (книг), які містять дані про всі транзакції та події у ланцюзі постачання починаючи від першої ланки (аграрій) і закінчуючи кінцевим споживачем. Реєстраційна книга формується з часових позначок і зашифрованих блоків даних, зв'язаних у хронологічному порядку.

Після додавання інформації у вигляді блоку, вона не може бути таємно змінена будь-яким суб'єктом. Це робить технологію blockchain цінною для ланцюжка постачання з огляду на те, що буде забезпечена суцільна простежуваність агропродукції. Транскордонні переміщення сировини, між морями, океанами та поміж материками не стануть на заваді для підтвердження простежуваності. А у випадку виявлення фальсифікованої / невідповідної продукції, технологія blockchain дозволить відслідкувати та відкликати партію продукції у ланцюгу постачання значно швидше та з використанням значно меншої кількості ресурсів пов'язаних з втратою фінансів та часу, що знизить ризики нанесення шкоди здоров'ю людини та збитків у виробничій діяльності.

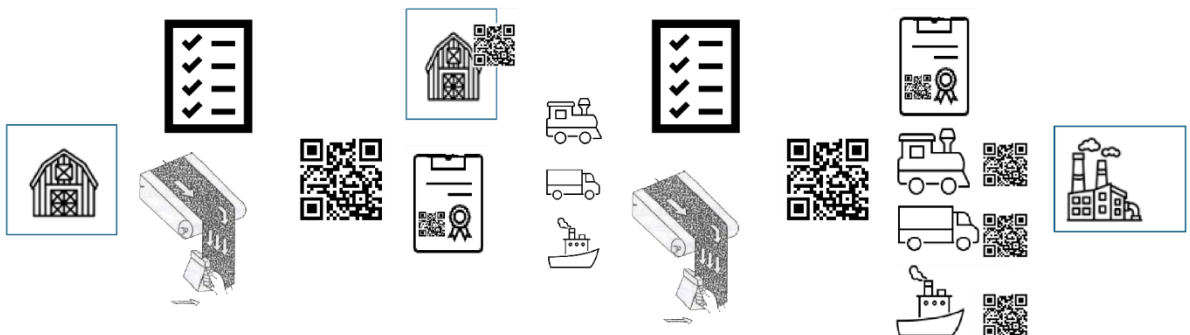


Рис. 1 – Етапи фіксування інформації за допомогою технології blockchain про харчовий продукт у ланцюзі постачання від складу до виробництва

Розробка та впровадження системи простежуваності у агропромислового комплексу України дасть змогу:

- збирати інформацію щодо кожної партії продукції, її характеристик ( кількісних та якісних);
- безпечно зберігати інформацію яка буде доступна тільки зацікавленим сторонам за наявності доступу;
- забезпечити незмінність інформації;

- постійно додавати інформацію для забезпечення простежуваності для всього ланцюгу постачання;
- підтримувати обмін інформації між зацікавленими сторонами та уповноваженим органом оцінки відповідності [3].

#### Список посилань

1. Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic Review. Rizwan Matloob Ellahi, Lincoln C. Wood and Alaa El-Din Ahmed Bekhit
2. ISO 22005:2007 Traceability in the feed and food chain — General principles and basic requirements for system design and implementation.
3. Reshma Kamath, “Food Traceability on Blockchain: Walmart’s Pork and Mango Pilots with IBM,” The Journal of the British Blockchain Association 1, no. 1 (2018): 1–12, [https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-\(10\)2018](https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-(10)2018).

УДК 004

**Кіркопуло К.Г., канд. техн. наук, доцент**  
**Торопенко О.В., аспірант**  
**Белоус А.О., здобувач освіти**

Національний університет «Одеська політехніка», [belousanna2004@gmail.com](mailto:belousanna2004@gmail.com)

### ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

Інтеграція штучного інтелекту в українські інформаційні технології пропонує значний трансформаційний потенціал: у міру поширення технології штучного інтелекту створюються унікальні можливості для підвищення точності, ефективності та покращення процесів прийняття рішень.

Швидко аналізуючи дані, надаючи прогностичні висновки та допомагаючи виявляти помилки, штучний інтелект стає ключовим активом для забезпечення точності даних, особливо в часи зростаючої невизначеності та кризи. Цей підхід набуває все більшого визнання в різних галузях, включаючи логістичні операції [1].

Впровадження штучного інтелекту в галузь транспортної логістики приносить позитивні зміни для бізнесу та споживачів, оптимізуючи управління процесами вантажоперевезень та доставки. Штучний інтелект успішно поєднує людський інтелект з автоматизованими процесами, особливо у сфері логістичного планування.

У сучасному світі логістика стала ключовим елементом для ефективного функціонування бізнесу та глобальних ланцюгів поставок, особливо в умовах зростання виробництва та торгівлі. Це вимагає впровадження нових підходів для успішного вирішення поставлених завдань. У цьому контексті штучний інтелект може відігравати важливу роль у підвищенні ефективності та точності логістичних процесів.

Наразі існує низка спеціалізованих компаній, які надають користувачам різноманітне програмне забезпечення, комп'ютерне обладнання для його використання та передові технології, такі як Інтернет речей (IoT). Банк підприємництва та інновацій (BPI France) виділив понад 2 мільйони євро 552 французьким компаніям на розвиток технологій штучного інтелекту.

Сучасні технології широко використовують технології штучного інтелекту, наприклад, програмне забезпечення для управління ланцюгами поставок у роздрібній торгівлі, оптимізації складів та управління запасами, а також для розробки автономних транспортних засобів. Не буде перебільшенням сказати, що технологія штучного інтелекту наразі використовується майже в усіх сферах, де потрібно аналізувати великі обсяги даних.

Штучний інтелект вже зараз суттєво допомагає оптимізувати логістичні бізнес-процеси на різних рівнях:

1. Прогнозування попиту: за допомогою ШІ компанії можуть використовувати реальні дані для точного прогнозування споживчого попиту та раціонального управління запасами.

2. Планування поставок: ШІ в логістиці може допомогти компаніям динамічно адаптувати параметри ланцюжка поставок у відповідь на зміни попиту та ринкових умов.

3. Складування: штучний інтелект можна використовувати для оптимізації складських операцій, таких як сортування, комплектація, пакування та переміщення товарів, а роботизовані системи - для більш ефективного і точного виконання завдань.

4. Оптимізація маршрутів: ШІ аналізує дані про трафік, погоду та інші фактори для оптимізації маршрутів транспортних засобів у ланцюгу поставок.

5. Аналіз поведінки клієнтів: інтелектуальні технології можуть допомогти постачальникам краще зрозуміти вподобання та потреби клієнтів і надавати їм персоналізовані послуги та пропозиції.

В останніх новинах провідних транспортних і логістичних компаній активно обговорюється використання технології штучного інтелекту, її перспективи та рекомендації щодо впровадження: світові лідери у сфері баз даних, такі як SAP, Microsoft, Oracle та IBM, успішно інтегрували штучний інтелект у свої комерційні продукти. Розробники програмного забезпечення для транспорту та логістики, такі як Asteos, Akanea, Infor, Manhattan Associates, OMP/GPI Xuric та Cofisift/Xuric, також слідують цій тенденції.

Інноваційна лабораторія S2PWeb, що входить до групи GedTrans, розробила GedVerifier, який автоматизує аналіз ключових документів транспортної компанії, таких як реєстраційні свідоцтва, витяги з торгового реєстру К-bis, транспортні ліцензії та свідоцтва про соціальне страхування. Ця технологія звільнила більшість персоналу від ручної обробки до 14 000 форм на місяць, скоротивши час обробки у вісім разів. Компанія HERE, розробник картографічної платформи, розробила цифрову програму, яка використовує аналіз зображень з фронтальних камер, смартфонів і відеореєстраторів для прогнозування небезпеки на дорозі. Розробники системи постійно вдосконалюють алгоритми, автоматизують процес прийняття рішень та оновлюють програмне забезпечення для виконання необхідних операцій. Використання інтелектуальних технологій дозволяє контролювати автоматизовані портальні транспортні засоби (AGV) і складські дрони та аналізувати ситуацію для визначення оптимальної кількості працівників на складі. При плануванні роботи автотранспортних компаній програмні алгоритми можуть інтегрувати інформацію про погоду і дорожні умови в режимі реального часу і постійно оптимізувати розрахунок найкращих транспортних маршрутів. Інтелектуальні технології також можуть використовуватися для визначення потреби в транспортних засобах для виконання замовлень і розрахунку транспортних витрат, доходів і прибутку в режимі реального часу. Відомий штучний інтелект ChatGPT також може зробити значний внесок у транспортно-логістичну галузь, надаючи багато корисних функцій. Зокрема, він може автоматизувати ручні та трудомісткі процеси, аналізувати великі обсяги даних для прийняття обґрунтованих рішень, прогнозувати час доставки вантажу, автоматично обробляти запити та скарги клієнтів, а також навчати та підтримувати працівників. Його внесок полягає у підвищенні ефективності та оптимізації різних аспектів логістичного процесу [3]. Приклади того, як штучний інтелект, включаючи інструменти OpenAI, може сприяти розвитку логістики:

1. OpenAI Codex: ця система, яка генерує код на основі прикладів і описів, значно полегшує процес програмування в транспортних і логістичних компаніях, дозволяючи розробникам швидше створювати і оптимізувати програмний код.

2. OpenAI GPT: Велика мовна модель GPT дозволяє логістичним компаніям покращити комунікацію та взаємодію зі своїми клієнтами, постачальниками та партнерами, забезпечуючи ефективний обмін інформацією різними мовами. Вона також може бути використана для створення маркетингових матеріалів та покращення послуг.

3. OpenAI DALL-E: дозволяє створювати нові продукти, дизайни логотипів, варіанти упаковки та інші візуальні елементи для логістичної галузі, генеруючи зображення на основі текстових описів.

4. OpenAI CLIP: інструмент класифікації, який може розпізнавати об'єкти та події на зображеннях, відео, тексті та аудіо, допомагаючи транспортним компаніям розпізнавати об'єкти, місця розташування та інші дані у великих обсягах інформації.

5. OpenAI Microscope: серія можливостей візуалізації, які допомагають вдосконалити системи телематики та комп'ютерного зору, а також додатки в логістиці [2].

Згідно з результатами глобального дослідження, проведеного компанією Gartner, впровадження штучного інтелекту в бізнес-процеси призводить до підвищення продуктивності праці та зростання вартості компанії. Використання штучного інтелекту в логістиці дозволяє автоматизувати різні завдання, такі як планування маршрутів, управління запасами та моніторинг стану товарів у дорозі. Це призводить до підвищення ефективності та зниження витрат.

Незважаючи на численні переваги, використання штучного інтелекту в логістиці вимагає уваги до питань конфіденційності даних, кібербезпеки та етики. Також важливо враховувати витрати та вимоги до навчання. Тому важливо знати про певні обмеження штучного інтелекту, яких слід не лише уникати, а й своєчасно усувати [4].

Таким чином, штучний інтелект уже став безсумнівно важливим фактором у логістичній галузі. Завдяки штучному інтелекту логістика не тільки адаптується до поточних потреб, а й рухається в майбутнє, де її можливості значно перевершують сьогоднішні. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в транспортно-логістичну галузь - це важливий крок на шляху до дедалі ефективнішого і технологічно просунутого майбутнього. Від оптимізації маршрутів до впровадження автономних транспортних засобів - ШІ революціонує способи транспортування вантажів по всьому світу. Використання ШІ в галузі демонструє її здатність стимулювати перетворення і довгострокове зростання.

Використання технології штучного інтелекту стає очевидним у складних транспортних і логістичних ситуаціях. Однак її впровадження пов'язане з певними проблемами. Проте гравці галузі сповнені рішучості вирішувати ці проблеми та відповідально впроваджувати технології штучного інтелекту. Від заходів кібербезпеки до комплексних програм підготовки робочої сили - учасники працюють над створенням екосистеми, в якій ШІ доповнює, а не замінює людські здібності.

У майбутньому формування застосування ШІ в транспорті та логістиці вимагатиме співпраці технологічних новаторів, законодавців і лідерів галузі. Етичні міркування повинні залишатися в центрі уваги при розробці та впровадженні систем ШІ у відповідальний спосіб. В епоху непередбачуваного технологічного прогресу транспортно-логістична галузь стоїть на лінії розлому інновацій і відповідальності, готова рухатися вперед завдяки людській винахідливості в поєднанні зі здатністю штучного інтелекту (ШІ) створювати світле майбутнє, де зустрічаються ефективність і стійкість, на благо як бізнесу, так і суспільства в цілому. для подальшого просування ефективності, стійкості та зв'язності [5].

#### Список посилань

1. Онешко, С., Назаренко, О., Коваль, О., Яремко, І. і Писарчук, О. (2023). Бухгалтерський облік та фінансова звітність в IT-сфері України: можливості штучного інтелекту. *Financial and credit activity problems of theory and practice*, 5(52), 79–96.

2. Довга, С. (2019, 22 грудня). "Штучний інтелект у логістиці та вантажних перевезеннях." Отримано з URL: [https://logist.today/uk/dnevnik\\_logista/2019-12-22/iskusstvennyj-intellekt-v-logistike-i-gruzovyh-perevozkah/](https://logist.today/uk/dnevnik_logista/2019-12-22/iskusstvennyj-intellekt-v-logistike-i-gruzovyh-perevozkah/)

3. Букалов О.В. (2023). "Природа психіки та свідомості, квантові комп'ютери та інформаційні моделі у психоінформатиці (соціоніці)." *Stuc. intelekt*, 28(3), 18-30.

4. Gartner: офіційний веб-сайт. (Без дати). Beyond ChatGPT: The Future of Generative AI for Enterprises. Отримано з URL: <https://www.gartner.com/en/articles/beyond-chatgpt-the-future-of-generative-ai-for-enterprises>

5. Team EMB. (2023, 18 листопада). "The Impact of AI in Transport and Logistics Industry." Отримано з URL: <https://blog.emb.global/ai-in-transport-and-logistics-industry/>

УДК 519.1

**Ярещенко В.В., аспірант**  
**Косенко В.В., докт. техн. наук, професор**  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
vlad.yareschenko@gmail.com

## ГРАФ-ОРІЄНТОВАНИЙ АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОДІВ

При реалізації сучасних комп'ютерних систем особлива увага приділяється оптимізації енергоспоживання, що стає важливим фактором у забезпеченні їх ефективності. Розробники процесорів стикаються з обмеженнями, що полягають у розсіюванні енергії на переміщення даних в ієрархії пам'яті та між пристроями вводу-виводу. Вирішення проблеми розсіювання енергії в лініях зв'язку при збереженні продуктивності є нагальним завданням для CMOS-технології. Сучасні дослідження вивчають способи вирішення таких проблем через оптимізацію ієрархії пам'яті та зменшення активності перемикачів на шинах [1].

Перспективним напрямом на сьогодні є впровадження ефективного кодування, що дозволяє зменшити кількість перемикачів бітів під час запису, зменшуючи витрати енергії. При цьому традиційно використовується код Грея, що має недоліки в збалансованості та кількості перемикачів бітів [2]. В процесі дослідження визначено вид кодів, що мають ті ж властивості, що і коди Грея – коди одиначної відстані. Запропоновано їх розглянути як альтернативу традиційному кодуванню.

Для побудови кодів одиначної відстані пропонується розглянути алгоритм, що базується на теорії графів і полягає у побудові гамільтонових шляхів у графах гіперкуба. Початковим етапом алгоритму є задання структури гіперкуба, який являє собою граф з вершинами, позначеними двійковими кодами. Використовуючи марковані вершини, в процесі алгоритму здійснюється обхід графа, визначаються доступні вершини та будуються потенційні початкові шляхи [3-4]. Після серії ітераційних кроків формується гамільтоновий шлях гіперкуба, що являє собою код одиначної відстані.

За допомогою запропонованого алгоритму було сформовано набір кодів, та проведено розрахунок їх характеристик. Аналіз дозволив виділити коди з покращеними параметрами порівняно з кодами Грея. З використанням більшого набору кодів розробники отримують ширший вибір, що дозволяє досягти кращих результатів щодо енергоспоживання та інших пов'язаних проблем при проектуванні цифрових систем.

### Список посилань

1. Bittman D. Et al. Optimizing Systems for Byte-Addressable NVM by Reducing Bit Flipping // FAST. – 2019. – P. 17-30.
2. Lee D., O'Connor M., Chatterjee N. Reducing Data Transfer Energy by Exploiting Similarity within a Data Transaction // IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA). – 2018. – P. 40-51.
3. Kandel A., Bunke H., Last M. Applied Graph Theory in Computer Vision and Pattern Recognition // Springer, 2007. – 261 p.
4. Thulasiraman K. Handbook of Graph Theory, Combinatorial Optimization, and Algorithms // New York: Chapman & Hall/CRC, 2015. – 1244 p.

УДК 004.9

Терентьєв О.О., докт. техн. наук, професор  
Соловей Б.А., аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, bsolovei25@gmail.com

## **ФАКТОРИ РИЗИКУ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ АВАРІЇ БАШТОВОГО КРАНУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Баштові крани є найбільш застосованими серед будівельних кранів, з метою підвищення надійності баштових кранів в Україні та закордоном проводяться дослідження пов'язані з розробкою моделей та методів підвищення надійності конструкції крана на етапах проектування та експлуатації. При цьому, поза увагою залишаються інформаційні технології, як інструмент підвищення надійності експлуатації баштових кранів.

У звіті «Оцінки діючих інформаційних систем» Державної служби України з питань праці [1] зареєстрована тільки одна інформаційна система «Баштові крани», розроблена на замовлення Держгірпромнагляду ДУ «ННДПБОП», включений в систему «Баштові крани» набір функцій дає можливість отримати інформацію щодо технічного стану крана, але не дозволяє оцінювати ризики аварії баштового крана під час експлуатації, а значить не вирішує повністю питання підвищення надійності експлуатації баштового крана.

На нашу думку, розробка інформаційної технології постійного спостереження та оцінювання ризиків аварії баштового крана під час експлуатації може стати дієвим інструментом для підвищення надійності експлуатації баштового крана. Така технологія має включити формалізовані фактори ризику при яких може виникнути аварія при експлуатації баштового крана; методи кількісної оцінки ризику пов'язаному з кожним фактором ризику; методи оцінки впливу сукупності ризиків на безпеку експлуатації баштового крана.

Визначимо фактори ризику при яких може виникнути аварія при експлуатації баштового крана шляхом аналізу причин аварій з баштовими кранами, які зазначені у звітах «Управління з охорони праці» (OSHA) у Міністерстві праці США [2] і Управління з охорони праці Великої Британії (Health and Safety Executive, HSE) [3], а саме причини аварій в яких

- був зафіксований удар вантажем в наслідок втрати вантажу на висоті: злам крюка крана під час підймання вантажу; зачеплення стріли крана за трос з вантажем, який підіймає інший кран; підйом вантажу оператором крана без участі сигнальника; зміна швидкості підйому вантажу;
- було зафіксовано ураження електричним струмом: контакт з повітряною електричною лінією ланцюгової стропи або сталевому вантажу; одночасний контакт з повітряною електричною лінією сталевому тросу баштового крана і крюка крана;
- було зафіксовано обвал крана під час монтажу/демонтажу: невиконання вимог щодо монтажу, демонтажу баштового крана [4-6], невідповідний контроль якості нероз'єднаних з'єднань, що проводиться під час монтажу;
- був зафіксований злам стріли крана: погодні умови, перенавантаження крана.
- було зафіксовано перевертання мобільного крана з причин: перенавантаження, сильний вітер, невиконання вимог щодо організації технічного обслуговування.

В опублікованих за останні роки роботах присвячених аналізу причин аварій з баштовими кранами [7-9] вище зазначені причини аварій з будівельними кранами є актуальними, при цьому всі причини розділені на категорії. Наприклад, категорію «Баштовий кран» пов'язано з причинами: нестійкий фундамент, ненадійне болтове з'єднання стиків секцій башти, стріли або башти до фундаменту, вихід зладу

обмежувальних пристроїв - обмежувача висоти підйому гака, обмежувача пересування крана; обмежувача повороту вежі; вихід зладу датчиків – кута підйому стріли, зусиль обмежувача вантажопідйомності, панелі сигналізації обмежувача; зношеність вантажозахватних пристроїв. Категорію «Працівник» - непоінформований щодо правил охорони праці під час експлуатації баштового крана; невиконання інструкції з безпечного ведення робіт для кранівників баштових кранів, для стропальників, відсутність посвідчення атестованого кранівника, стропальника тощо. Категорію «Зовнішнє середовище» - несприятливі погодні умови, висока інтенсивність робіт.

Таким чином, враховуючи перелічені вище причини аварій з баштовими кранами запропонуємо перелік факторів ризику які можуть впливати на виникнення аварії з баштовим краном:

1. Вантажозахватні пристрої крана.
2. Гальмівна система крана.
3. Система захисту проти перенавантаження - система обмежувачів вантажопідйомності, які повинні автоматично відключати механізми підйому вантажу, якщо маса вантажу перевищує вантажопідйомність.
4. Власна стійкість крана, яка має протидіяти перекиданню під дією вітрових навантажень і нахилу шляху у неробочому стані.
5. Зрівноваженість конструкції крана під час нарощування башти.
6. Кріплення крана до фундаменту.
7. Механізми підйому вантажу баштового крана.
8. Загальний термін експлуатації крана, кількість ремонтів, реконструкцій.
9. Досвід роботи кранівника, стропальника та персоналу з управління будівлею.

Фактори ризику 1-9 мають бути включені в інформаційну технологію постійного спостереження та оцінювання ризиків аварії баштового крана під час експлуатації. Для цього необхідно кожен фактор описати набором параметрів і визначити математичні моделі кількісної оцінки ризику по кожному фактору залежно від значень параметрів які його описують.

#### Список посилань

1. Звіт «Оцінки діючих інформаційних систем» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ilo.org/uk/media/300741/download>.
2. Офіційний сайт «Управлінням з охорони праці» (OSHA) у Міністерстві праці США [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.osha.gov/>.
3. Управління з охорони праці Великої Британії (Health and Safety Executive, HSE) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hse.gov.uk/>.
4. ДСТУ Б Д.2.4-17:2014 "Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Електромонтажні роботи (Збірник 17). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0128858-14#Text>.
5. НПАОП 0.001.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18#Text>.
6. НПАОП 0.00-1.01-07 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v5909641-07#Text>.
7. Zhang, X., Zhang, W., Jiang, L. and Zhao, T., 2020. Identification of critical causes of tower-crane accidents through system thinking and case analysis. *Journal of construction engineering and management*, 146(7), p.04020071.
8. Wu, B.J., Jin, L.H., Zheng, X.Z. and Chen, S., 2024. Coupling analysis of crane accident risks based on Bayesian network and the NK model. *Scientific reports*, 14(1), p.1133.
9. Kim, J.Y. and Kim, G.H., 2020. Importance ranking of accident factors of construction tower crane by AHP technique. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 8(04), p.237.

УДК 004

Антоненко Я.С., канд. техн. наук, доцент  
Д'яченко О.Ю., здобувач освіти

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, [yana.s.antonenko@gmail.com](mailto:yana.s.antonenko@gmail.com)

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

З початком війни в Україні [1], дистанційне навчання стало основною опцією доступу до знань, а навчальні заклади намагаються адаптувати до нових умов своєї праці в часи пандемії. Освітня укоротка терміни успішно освоїли цифрові ресурси та дистанційні платформи, які до цього не використовували у своїй роботі. На часі процес переходу від фрагментарного використання інформаційних та комунікаційних технологій до комплексних форм роботи та розбудови інноваційних освітніх середовищ. Застосування педагогічних інновацій в комплексі з ІКТ відкривають нові можливості для освітньої діяльності.

В умовах надзвичайної ситуації в галузі охорони здоров'я та безпеки життєдіяльності в Україні побудова платформи дистанційної освіти та обміну ресурсами стає все більш актуальною та важливою. Метою дослідження є визначення вектору руху в досягненні організації якісної дистанційної освіти, як одного із основних принципів здоров'язбереження під час воєнного стану. Для реалізації цієї мети повною мірою, слід розглянути і розробити більш зрілу і всеосяжну багатофункціональну систему [2]. Особливо, війна в Україні змушує освітян усвідомити, що завжди і всюди, де існують соціальні фактори, які впливають на нормальне викладання, модернізація освіти повинна насамперед забезпечити можливість безперешкодного викладання за будь-яких обставин.

Але, поруч із цим, дистанційна освіта надає здобувачам доступ до нетрадиційних джерел інформації, підвищує ефективність самостійної роботи, надає абсолютно нові можливості для творчості, а викладачам дозволяє впроваджувати принципово нові форми і методи навчання з використанням концептуального та математичного моделювання явищ і процесів.

Інформаційні технології в освітньому процесі зазвичай розглядають у трьох аспектах: як предмет вивчення, як засіб навчання та як інструмент автоматизації навчальної діяльності. Поява і широке впровадження мультимедійних засобів та інтернет-технологій уможливають використання інформаційних технологій як засіб комунікації, освіти та інтеграції у світове співтовариство.

Поєднання цих традиційних та інноваційних напрямів впровадження інформаційних технологій в освітній процес створює передумови для реалізації нової інтегрованої концепції застосування інформаційних технологій в освіті. Її суть полягає в реалізації потенціалу інформаційних технологій для особистісно-орієнтованого розвитку цифрової, інформаційно-аналітичної та інформаційно-дослідницької компетентностей здобувачів освіти та викладачів [3]. Практична реалізація нових технологій можлива завдяки розробці та впровадженню освітніх інформаційних середовищ у навчальний процес, які, в свою чергу є найефективнішою формою з усіх раніше відомих освітніх видів програмного забезпечення. Їх доцільно використовувати в навчальній та особливо в самостійній інформаційно-пошуковій діяльності.

Освітні інформаційні середовища дозволяють реалізувати більшість можливостей сучасних технологій в освітньому процесі за допомогою сучасних інструментів:

1. Презентації, які можуть включати анімацію, аудіо, відео та інтерактивні елементи.
2. Електронні енциклопедії. Гіпертекстові системи та мови гіпертекстової розмітки, такі як HTML.
3. Дидактичні матеріали.



4. Навчальні програми, які виконують функції дидактичних матеріалів і можуть відстежувати хід розв'язання та повідомляти про помилки.

5. Системи віртуального експерименту, тобто програмні пакети, які дозволяють здобувачеві проводити експерименти у "віртуальній лабораторії".

6. Програмне забезпечення для тестування знань, яке включає в себе опитувальники та тести.

7. Електронні підручники та навчальні курси, які об'єднують всі або декілька з перерахованих вище типів в єдиний комплекс.

8. Навчальні ігри та навчальні програми.

9. Штучний інтелект.

В результаті використання інформаційних технологій спостерігається динаміка в покращенні якості знань здобувачів та підвищенні мотивації до навчальної діяльності а впровадження технологій штучного інтелекту [4] щодо організації навчального процесу можна розглядати як один з елементів підвищення конкурентоспроможності вищого навчального закладу в освітньому середовищі.

Процес інформатизації та цифровізації наразі повинен бути ключовою характеристикою сучасної освіти для розвитку вищих шкіл в умовах масового розповсюдження інформаційно-комунікаційних технологій, які в свою чергу, роблять освітній процес мобільним, диференційованим та індивідуальним.

Запропоновано концепцію моделювання інтегрованого цифрового освітнього середовища та відповідну модель інтегрованого цифрового освітнього середовища, складовими якої є: технологія дистанційного/змішаного навчання із акцентом на здоров'язбережувальні компетентності; система формування цифрової компетентності суб'єктів освітнього процесу, зокрема, програмне та навчально-методичне забезпечення; модель інтеграції цифрових технологій та електронних ресурсів в освітній процес; цифрові освітні ресурси, апробація розробленої освітньої платформи педагогами засобами цифрових технологій для дистанційного/змішаного навчання.

При поєднанні концепції модернізації освітнього середовища в дистанційному режимі з використанням віртуальних симуляцій у навчанні, одного із перспективних ефективних методів підвищення якості засвоєння матеріалу (одна із найпоширеніших сьогодні платформа Labster), підкріплення з одного боку авторськими розробками викладачів, а з іншого боку - використання освітніх платформ ( EdEra, Prometheus, Coursera та ін.), дасть змогу зробити процес навчання цікавішим, і, відповідно, значно підвищить якість та ефективність набуття інтегральних компетентностей здобувачами – основними учасниками освітнього процесу.

#### Список посилань

1 Освіта України в умовах воєнного стану. Інформаційно-аналітичний збірник . Київ 2022. МОН; Інститут освітньої аналітики - 345с. [https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/education-of-ukraine\\_2022.pdf](https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/education-of-ukraine_2022.pdf).

2 Романовський О. Г., Квасник О. В., Мороз В.М., Підбуцька Н. В., Резнік С. М., Черкашин А. І., Шаповалова В. В. Фактори розвитку та напрями вдосконалення дистанційної освіти навчання в системі вищої освіти України. Інформаційні технології та засоби навчання. 2019. Т. 74. №6. 37 с

3 Особливості цифровізації освітнього процесу у вищій школі / Карплюк С.О. // Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку. Матеріали методологічного семінару НАПН України. 4 квітня 2019 р. / За ред. В.Г. Кременя, О.І. Ляшенка; укл. А.В. Яцишин, О.М. Соколюк. – К, 2019. – 361 с. – С. 188–197.

4 Dr. Natalia Bobro "The Use of Artificial Intelligence in The Organization of the Educational Process in A Digital Educational Environment", *Soc. sci. humanities j.*, vol. 8, no. 03, pp. 34586–34589, Mar. 2024, [doi: 10.18535/sshj.v8i03.945](https://doi.org/10.18535/sshj.v8i03.945).

## ІНТЕГРАЦІЯ LORAWAN З МЕРЕЖЕЮ 5G

Зростання кількості пристроїв Інтернету речей (IoT) робить актуальним питання забезпечення їх енергоефективного та надійного зв'язку[1]. Широкопasmові мережі з низьким енергоспоживанням (LPWAN), такі як LoRaWAN, забезпечують широке покриття та малу витрату енергії, що робить їх придатними для IoT-застосунків[2]. У той же час, розгортаються мобільні мережі 5-го покоління (5G), які пропонують значно більшу пропускну здатність. Це робить їх перспективними для забезпечення магістрального зв'язку для LPWAN. У цій роботі досліджується особливості інтеграції LoRaWAN з мережею 5G (5GTN) з метою безперешкодного об'єднання переваг обох технологій[3].

Для безперешкодної інтеграції LoRaWAN з 5GTN розглядаються чотири варіанти: через мережу доступу 3GPP; через ненадійну мережу доступу без 3GPP; як частина eNodeB; практично як частина основної мережі. Як частина мережі доступу LoRaWAN може бути підключена до 5GTN за допомогою інтерфейсу S1 (рис. 1).

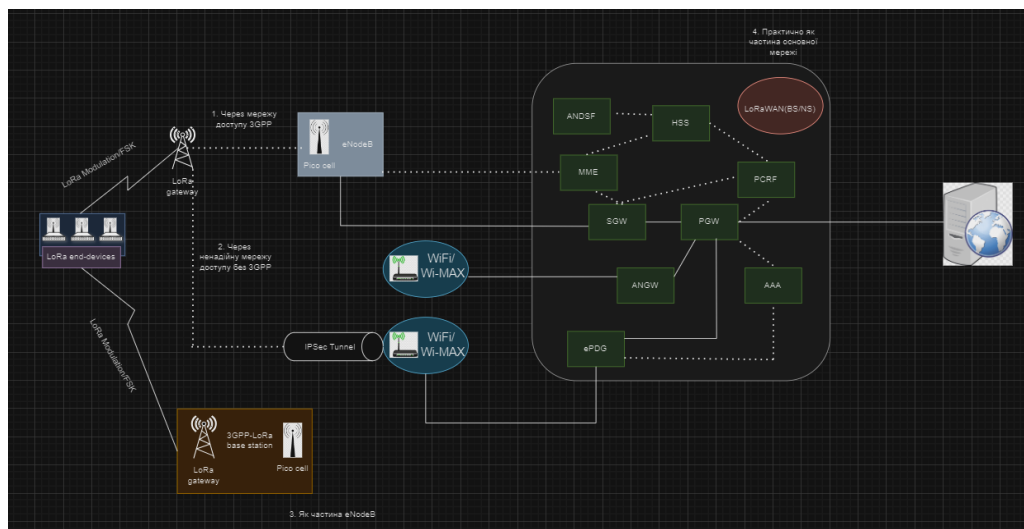


Рис. 1 – Можливості інтеграції LoRaWAN з 5GTN

5GTN має кілька варіантів EPC, LoRaWAN може встановити з'єднання S1 з будь-яким з EPC в 5GTN. Наступним етапом буде загальне тунелювання пакетної радіослужби для користувача на основі профілю абонента. Для аутентифікації та авторизації інформація про LoRaWAN повинна бути визначена в базі даних домашнього абонентського обслуговування.

### Список посилань

1. Ushakov Serhii, Kurdecha Vasyi "Optimizing Data Transmission in IoT Networks through Enhanced Compression and Edge Computing Techniques," 2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 76-79, doi: 10.1109/UkrMiCo61577.2023.10380347
2. Поковба О.Ю., Курдеча В.В. Бездротові технології передачі даних на великі відстані в мережах Інтернету речей //XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2024: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024, 303с.
3. J. П. Бардин та ін., "IoT: Ера LPWAN починається зараз", в ESSCIRC Conf. 2016, с. 25-30.

УДК 623.6:004.9

**Пантелєєва Н.М., докт. екон. наук, канд.техн. наук, професор**  
**Дудник Т.Г.**  
**Климок Ю.П.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, npanteleeva2017@gmail.com

## **УПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ПРАКТИКУ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

Враховуючи, що озброєння та військова техніка (ОВТ) відносяться до складних технічних систем, рішення щодо їх придатності до експлуатації приймається на підставі позитивних результатів проведених випробувань. Останні передбачають здійснення експериментальних досліджень за розробленою програмою та методикою з одержанням масивів даних, які потребують накопичення і первинної обробки, а також проведення необхідних розрахунків, систематизації та узагальнення. Все це зумовлює застосування для цілей випробувальної діяльності сучасного спеціального автоматизованого випробувального обладнання, яке є обов'язковим видом забезпечення випробувальних полігонів та/або встановлюється додатково на зразках ОВТ, та спеціалізованих інформаційних систем (ІС), які здатні зменшити обсяги рутинної роботи, скоротити час і підвищити якість підготовки висновків за результатами випробувань для прийняття обґрунтованих рішень щодо можливості серійного виробництва або сертифікації ОВТ на придатність до експлуатації [1].

Сьогодні глобальний ринок спеціального автоматизованого випробувального обладнання стрімко розвивається, його капіталізація досягла в 2022 році 8,5 млрд дол США, а в майбутньому десятиріччі (2023-2032 рр.) при прогнозованому темпі зростання 10% він може досягнути 20 млрд дол США. Частка ринку випробувального обладнання для аерокосмічної та оборонної промисловості становила 7,5% (близько 637,5 млн дол США) з подальшим прогнозованим зростанням до 1 млрд дол США [2].

Зауважимо, що впровадження сучасних ІС в практику випробувальної діяльності ускладнюється широкою номенклатурою та, відповідно, значною варіативністю показників вимірювання технічних параметрів зразків ОВТ, що унеможливує розробку універсальної ІС. Сьогодні вирішення цієї проблеми, за відсутністю кращого, здійснюється з використанням MS Excel (з різним ступенем функціональної повноти залежно від компетенцій інженерів-випробувальників) або локальних вузькоспеціалізованих програмних застосунків (ПЗ) безпосередньо для конкретного виду зразків ОВТ, що розробляються переважно без залучення фахівців інженерії програмного забезпечення. Цих ПЗ вкрай мало, а тому практика їх використання не набула сталості. Крім того, вони мають просту функціональну структуру, орієнтовану на мінімально-достатній перелік розрахункових показників стосовно надійності та ефективності ОВТ, не передбачають потокове введення первинних даних, одержаних під час випробувань, надають обмежені можливості графічної інтерпретації результатів експериментів, експорту та імпорту даних за різними форматами тощо.

Перспективною, на наш погляд, незважаючи на всю складність, є розробка єдиної ІС випробувань зразків ОВТ, що цілком відповідає цілям реформування ЗС України за стандартами НАТО. Доцільно, щоб розробка цієї системи: 1) враховувала базові принципи побудови та досвід впровадження корпоративних ІС, а також сучасну практику впровадження автоматизованих систем управління військами; 2) забезпечувала оптимальний рівень управлінської та функціональної декомпозиції та централізації/децентралізації; 3) використала потенціал сучасних інноваційних цифрових

технологія збору, обробки та збереження даних (інтернет-речей, блокчейн, Big Date, хмарні технології та ін.); 4) підтримувала протоколи інформаційної та програмної безпеки.

Вважаємо, що концептуально архітектура єдиної ІС випробувань зразків ОВТ повинна відповідати принципам ієрархії та декомпозиції. Її ядром може виступати система управління випробувальною діяльністю з можливостями аналітики її результатів, забезпечення безпеки та збереження даних у сховищі даних. Другий рівень включатиме множину підсистем, кожна з яких є локальною ІС технічної діагностики зразків ОВТ, які належать/призначені або певному роду військ, або спеціально виокремленому класу ОВТ (рис. 1).



Рис. 1 – Логічна архітектура єдиної ІС випробувань зразків ОВТ

Ядро системи має сховище даних, підсистеми ідентифікації користувачів і розподілу прав доступу та безпеки, статистики і аналітики даних. ІС технічної діагностики зразків ОВТ, як підсистеми єдиної ІС випробувань, функціонально можуть бути типовими, але їх відмінність повинна полягати в забезпеченні врахування специфіки зразків ОВТ (наприклад пілотованих і безпілотних літальних апаратів, різновидів засобів ураження). Вони повинні мати дружній і гнучкий інтерфейс кінцевого користувача, який дозволяв би здійснювати налаштування стосовно нормативних значень технічних показників за видами зразків ОВТ, методики випробувань в частини розрахунків та оцінки їх ефективності, а також форм представлення результатів, що передбачає наявність редакторів, бібліотек і шаблонів. Підсистема збору даних повинна враховувати різні формати даних і використання різних видів вимірювального обладнання, підсистема обробки даних – їх перевірку і приведення до структурованого формату баз даних, а підсистема розрахунків – їх проведення відповідно до методики випробувань.

Таким чином, запропонований концептуальний підхід побудови єдиної ІС випробувань зразків ОВТ дозволяє забезпечити модульну незалежність з дотриманням єдності підходів до програмних рішень, скоротити час розробки ПЗ на всіх рівнях декомпозиції, підвищити результативність упровадження. Автоматизація процесу збору та обробки інформації під час випробувань, на наш погляд, дозволить значно скоротити витрати, підвищити обґрунтованість і прискорити процес підготовки рішень прийняття зразків ОВТ на озброєння.

#### Список посилань

1. Gruzin V., Berdibekov A., Dolya A. Creation of an information system for managing the processes of testing technical systems At Military Testing Grounds. / V. Gruzin, A. Berdibekov, A. Dolya // Res Militaris. – 2022. – vol.12, n°2. – P. 2893-2906.
2. Military Weapon System Testing. Test Range Equipment. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.quickset.com/military-weapon-system-testing/>

УДК 615:616:681.47.004.58 (075.8)

Кучеренко В.Л., канд. тех.наук, доцент  
Національний авіаційний університет, м. Київ, markiza2021@ukr.net

## РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МЕДИЧНИХ ВИРОБІВ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Прогнозування являє собою оцінювання часу до несправності або відмови та ризику відмови внаслідок наявних пошкоджень чи пошкоджень, які очікуються в майбутньому. Прогнозування ефективно для таких несправностей, у яких характеристики, що їх описують, відомим чином змінюються з часом. Складніше за все прогнозувати випадкові відмови. Відмови визначають за контролюючими параметрами. Загальна процедура складання прогнозу містить такі основні моменти [1]:

- визначення кінцевої точки (зазвичай точки зупинення роботи технічного об'єкту);
- визначення поточного технічного стану технічного об'єкту;
- спостереження зміни параметрів та оцінка швидкості розвитку пошкодження;
- отримання оцінки часу до відмови технічного об'єкту.

Відповідно до нормативних документів [2, 3], **ремонтпридатність** - здатність виробу за певних умов використання зберігати чи відновлювати стан, у якому він може виконувати потрібну функцію, якщо технічне обслуговування виконано за певних умов із застосуванням установлених процедур і ресурсів

Головним показником ремонтпридатності є час відновлення об'єкта після відмови, що містить такі основні складові:

- час виявлення елемента, що відмовив;
- час ремонту або заміни елементів, що відмовили;
- час доставлення необхідних елементів та деталей;
- час налагоджування елемента та контролю після його ремонту або заміни.

Кожна з цих складових залежить від великої кількості різнорідних випадкових факторів, отже час відновлення є випадковим. За аналогією до показників безвідмовності, як показники ремонтпридатності об'єктів використовують ймовірнісні характеристики:

- *імовірність відновлення  $v(t)$*  - імовірність того, що час відновлення працездатного стану об'єкта не перевищить заданого значення;
- *щільність розподілу імовірності відновлення  $f_v(t)$*  - похідна від функції розподілу імовірності відновлення  $v(t)$ ;
- *середня інтенсивність відновлення  $\mu(t)$*  - середнє значення інтенсивності відновлення в заданому інтервалі часу;
- *середня тривалість відновлення  $T_v$*  - математичне сподівання часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови;
- *гамма-відсоткова тривалість відновлення  $t_\gamma$*  - інтервал часу, протягом якого відновлення працездатності об'єкта здійсниться з імовірністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках;
- *середня трудомісткість технічного обслуговування* - математичне сподівання трудомісткості технічного обслуговування та (чи) ремонту, виражене в людино-годинах.

У вузькому сенсі під ремонтпридатністю розуміють пристосованість пристрою до зручного і швидкого здійснення окремих технологічних операцій при його обслуговуванні, ремонті, контролі технічного стану, при розбиранні (збірці) вузлів і деталей пристрою, їх контролі і заміні. Ремонтпридатність забезпечується при проектуванні і виготовленні медичного виробу правильним вибором конструкції і дотриманням технології виробництва. Підтримка ремонтпридатності в процесі експлуатації виробу досягається раціональною системою технічного обслуговування і ремонту.

Важливою частиною вартості використання виробу є головні ресурси, що витрачаються на ті завдання, які необхідні для збереження виробу чи відновлення його до задовільного стану. Це головне зусилля пов'язане з кількістю цих завдань, їх складністю і тривалістю. Проектування виробу має гарантувати три речі, а саме:

- а) можливість виконання необхідних робіт;
- б) надійність;
- в) ремонтпридатність.

Друга та третя з цих характеристик безпосередньо впливають на технічне обслуговування виробу, при цьому досягнута надійність відображає частоту позапланових обслуговувань, а ремонтпридатність відображає зусилля, необхідне для здійснення всього обслуговування. Тому дії, виконувані протягом проектування виробу й передбачені для впливу на норму відмови і серйозність відмови, впливають переважно на методи надійності, тоді як вони призначені впливати на профілактичне та позапланове технічне обслуговування та їх тривалість, вартість підтримки технічного обслуговування, завдань, призначених переважно для ремонтпридатності. Виріб, який можна легко обслуговувати, і його обслуговує компетентна й ефективна експлуатаційна організація, має більшу доступність і меншу вартість життєвого циклу, ніж той, який не має цих властивостей. Ступінь зусилля, який прикладають для досягнення хорошої ремонтпридатності й ефективної організації підтримки, залежить від виду виробу та його використання, і заснований на експлуатаційному, економічному та безпечному чинниках.

Ремонтпридатність має суттєвий вплив на вартість підтримки і придатність обладнання і забезпечується під час проектування, виготовлення та експлуатування, які впливають на здатність виробу відповідати вказаним вимогам використання й обслуговування. Цю здатність зазвичай визначають як у якісних, так і в кількісних характеристиках.

Проектувальник, відповідальний за досягнення вказаних у проекті експлуатаційних вимог, які охоплюють вимоги ремонтпридатності в межах звичайних обмежень програм і витрат. Для того щоб задовольнити ці вимоги, ремонтпридатність треба визначити на початку процесу проектування, і необхідні дослідження ремонтпридатності потрібно виконувати протягом цього процесу. Суттєві вхідні дані для аналізування ремонтпридатності, з досліджень результатів надійності, а також результати недавніх аналізів ремонтпридатності устаткування, які не долучено до цієї настанови, повинен забезпечити постачальник обладнання як частину їх програми ремонтпридатності. Суттєві дані щодо аналізу ремонтпридатності:

- вивчення результатів безвідмовності;
- результати недавніх аналізів ремонтпридатності обладнання, які повинен забезпечити постачальник обладнання як частину їх програми ремонтпридатності.

Прогнозувати ремонтпридатність можна для завершеного виробу чи на нижчому аналогічному рівні. Прогнозування можна приймати як перевірку, у якій ризик проекту незначний і (або) в якій споживач вважає достатнім наявність погодження, що отримано під час розробляння.

#### Список посилань

1. Кучеренко В.Л., Медведський В.Є. Критерій зародження несправності як чинник якості прогнозування технічного стану медичних виробів. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2023): XIII міжнар. конф., 25-26 травня 2023 р.: тези доп. – Чернігів, 2023. – С. 303.
2. ДСТУ ІЕС 60706-2:2008 Ремонтпридатність устаткування. Ч.2. Вимоги до ремонтпридатності та дослідження на етапі проектування та конструювання. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 35 с.
3. ДСТУ ІЕС 60706-3:2008 Ремонтпридатність устаткування. Ч.3. Перевірка, збір, аналіз і подання даних. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 35 с.

УДК 537.8: 620.1: 621.643.2

Джала Р.М., докт. техн. наук  
Джала В. Р., канд. техн. наук  
Вербенець Б.Я., канд. техн. наук  
Мельник М.І., канд. техн. наук

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, dzhala.rm@gmail.com

## КОНТРОЛЬ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

Протикорозійний захист (ПКЗ) підземних і підводних трубопроводів (ПТ) та інших металевих споруд в агресивному електропровідному середовищі здійснюють ізоляційними покриттями і катодною поляризацією. Для контролю параметрів їх якості традиційно застосовують контактні електрометричні методи і засоби, основними недоліками яких є велика трудомісткість, недостатні інформативність та оперативність. Ці недоліки усуваються безконтактними методами. Тому їх розроблення і впровадження актуальні і практично важливі для запобігання пошкоджень і продовження термінів безаварійної експлуатації ПТ, якими транспортують газ, нафту, воду, хімічні продукти.

У ФМІ авторами запропоновано технологію безконтактних інтегральних, диференціальних та локальних обстежень ПКЗ ПТ за методами безконтактних міряннь струмів (БМС). Створено нові засоби і розвинуто методи визначення параметрів ізоляційного покриття і електрохімічного захисту від корозії сталевих ПТ,

Опрацьовано методи визначення розподілу вздовж траси струму катодного захисту (СКЗ), перехідного опору труба–земля та його складників (грунту, ізоляції, поляризації) на ділянках ПТ [1]. Запропоновано і перевірено в натурних умовах новий критерій виявлення незадовільної ізоляції ПТ [2], за яким перевищення відносними витратами струму критичного значення  $\delta J_{кр} = 0,2\sqrt{f / \rho_{Г}}$ , %/м вказує на незадовільний стан ізоляції у відповідних ділянках ПТ.

Досліджено можливості оцінювання розподілу витрат СКЗ у ПТ за вимірами змінних компонент. Запропоновано новий спосіб Джали визначення напряму пульсівного струму за його асиметрією і фазами гармонічних компонент [1]. Запропоновано визначати густину СКЗ на ділянці ПТ за вимірами змінного струму та коефіцієнта гармоніки [1]. Розроблено спеціальну програму для комп'ютерного опрацювання БМС ПТ.

Розроблено науково-методичні основи побудови і застосування електромагнетної інформаційно-міральної системи (ЕМ ІМС), що реалізує нові методи і засоби БМС, відбору та кількісної оцінки інформативних ознак ЕМ поля та визначення параметрів стану захищених струмопровідних комунікацій. Запропоновано і розвинуто концепцію контролю стану ПКЗ ПТ методом БМС з локальними контактними міряннями електричних потенціалів у місцях аномально великих витрат струму УКЗ. Створено методи і засоби відбору та автоматизованого опрацювання кількісної інформації від об'єкта до документа, якими започатковано новий напрям технології обстежень корозійного стану ПТ.

### Список посилань

1. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій. Довід. посібн. У 8 томах за заг. ред. З.Т. Назарчука. – Том IV. Електрофізичні методи неруйнівного контролю дефектності елементів конструкцій / Р.М. Джала, В.Р. Джала, І.Б. Івасів, В.Г. Рибачук, В.М. Учанін / за ред. Р.М. Джали. – Львів: Простір-М, 2018, – 356 с.

2. Джала Р.М., Вербенець Б.Я., Джала В.Р., Мельник М.І. Електродинамічний критерій якості ізоляції підземного трубопроводу. *Доповіді Національної академії наук України / Фізика*. 2023. № 4. С. 33—42. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.04.033>

УДК 004.4:61:004

Ковальчук В.І., аспірант

Національний авіаційний університет, м. Київ, [vl.i.kovalchuk@gmail.com](mailto:vl.i.kovalchuk@gmail.com)

## МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТА ВЗАЄМОДІЇ СТРУКТУРНИХ ОДИНИЦЬ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Значним викликом галузі охорони здоров'я є наявність великої кількості різноманітних даних, інтерпретація яких є критично важливою для успішного лікування пацієнта. Ручний обрахунок різноманітних параметрів потребує великої кількості часу та відповідних спеціалістів. Зважаючи на розвиток інформаційної галузі, більшість подібних обрахунків можливо автоматизувати за допомогою алгоритмів. Тож можна виділити кілька підсистем медичної інформаційної системи (МІС), що будуть актуальними для вирішення цього питання.

**Система обміну інформацією з лабораторіями.** Зважаючи на те, що проведенням аналізів може займатись будь-яка локальна лабораторія, не інтегрована до медичної системи лікарні, доцільно долучити до МІС модуль, який би забезпечував передачу даних між сторонніми лабораторіями і медичним закладом, в якому спостерігається пацієнт. Як правило, подібні задачі вирішує лабораторна система управління інформацією (LIMS). Модуль LIMS дозволяє ефективно керувати лабораторними операціями, включаючи збір, обробку та аналіз проб. В контексті формування поняття підсистеми обміну інформацією нас цікавить останній етап лабораторної обробки, тобто електронний обмін даними. Успішна передача файлів даних у електронних таблицях та інших форматах є ключовим аспектом сучасної LIMS. Фактично, перехід від власних баз даних до стандартизованих систем керування базами даних, таких як MySQL, мав значний вплив ефективність лабораторних інформаційних систем. [1]

**Система автоматичного аналізу даних пацієнта.** Для того, аби пришвидшити процес прийняття рішення у випадку кожного конкретного пацієнта, слід автоматизувати аналіз даних. Технічно, це означає формування системи, яка, отримуючи вхідні дані із результатами аналізів пацієнта, співставляла б їх як із його попередніми показниками, так і з діапазоном стандартних значень. Таке попереднє співставлення може бути повністю автоматизоване, за умови наявності в системі вичерпних експертних знань, щодо сигнатур і патернів зміни аналізів пацієнта. Відповідно, інформування лікаря відбуватиметься не кожного разу, коли система отримує новий масив даних, а лише у випадку виявлення відхилень від норми. Варто зазначити, що система автоматичного аналізу даних має застосовувати ефективні сучасні технології, такі як хмарні обчислення та інтелектуальний аналіз даних. [2]

**Система інформування лікаря і пацієнта.** Часто інформування пацієнтів щодо необхідності регулярного обстеження як і інтерпретація отриманих результатів лягає на плечі лікарів. Автоматизування комунікації між пацієнтом і лікарем дозволить уникнути ряду помилок, пов'язаних із людським фактором. [3] Первинним функціоналом цієї системи може бути надсилання реципієнту нагадувань про необхідність здачі аналізів та інформування лікаря у разі виявлення негативних патернів у результатах аналізів. Та система інформування не лише пришвидшує процес, але й позитивно впливає на ставлення пацієнта до власного здоров'я. Аналіз 51 публікації, що стосувались автоматичних медичних сповіщень показав, що у 78% розглянутих досліджень спостерігався позитивний вплив досліджуваного втручання, тобто пацієнти більш відповідально ставились до проходження регулярних скринінгів [4]

**Система зберігання і репрезентації даних.** Увесь масив цифрової інформації, що стосується кожного пацієнта медичного закладу потребує певних засобів для зберігання. Маючи справу із персональною медичною інформацією, слід враховувати її високу



чутливість та докласти максимум зусиль для анонізації та збереження конфіденційності даних під час їхнього зберігання. Окрім цього, важливо також сформулювати перелік користувачів, що повинні мати доступ (повний або частковий) до цієї інформації. Доступ до цих даних дозволяє легко і контрольовано проводити ретроспективні когортні дослідження, однак вимагає анонізації даних пацієнтів так, аби незважаючи на повноту медичної інформації було неможливо встановити конкретну особу, якої стосується ця інформація. Відтак, система зберігання і репрезентації даних має вирішити одразу декілька завдань – конфіденційне і захищене зберігання даних пацієнтів, а також формування доступу певної частини цих даних для різних типів користувачів. Проблему зберігання інформації у МІС покликано вирішити електронні медичні записи (Electronic Medical Records - EMR / Electronic Health Records - EHR). Як випливає з назви, EHR розроблено, щоб створювати та зберігати записи пацієнтів у цифровому вигляді. Ця електронна база даних дозволяє вести історію кожного пацієнта, вводячи контактні дані, результати аналізів, історію лікування тощо. Системи EHR розроблені для точного зберігання даних і фіксації стану пацієнта протягом певного часу. [5]

#### Список посилань

1. O'Leary, K. M. Selecting the Right LIMS: Critiquing technological strengths and limitations // Scientific Computing. Retrieved 7 September 2018.
2. Tonekaboni, S., Joshi, S., McCradden, M. D., Goldenberg, A. What Clinicians Want: Contextualizing Explainable Machine Learning for Clinical End Use // Machine Learning for Healthcare Conference / PMLR. 2019. P. 359–380.
3. Coiera E. Communication systems in healthcare // Clin Biochem Rev. 2006. Vol. 27, № 2. P. 89-98. PMID: 17077879; PMCID: PMC1579411.
4. Perri-Moore S., Kapsandoy S., Doyon K., Hill B., Archer M., Shane-McWhorter L., Bray B. E., Zeng-Treitler Q. Automated alerts and reminders targeting patients: A review of the literature // Patient Educ Couns. 2016. Vol. 99, № 6. P. 953-959. doi: 10.1016/j.pec.2015.12.010. Epub 2015 Dec 21. PMID: 26749357; PMCID: PMC4912908.
5. Habib J. L. EHRs, meaningful use, and a model EMR // Drug Benefit Trends. 2010. Vol. 22, № 4. P. 99-101.

УДК 621.941-229.3:531.133

**Чанєва М.Д., студент**  
**Бабич Ю.І., канд. техн. наук, доцент**  
**Накоряков О.Г., аспірант**

Національний університет «Одеська політехніка», [chanieva.8865183@stud.op.edu.ua](mailto:chanieva.8865183@stud.op.edu.ua)

#### **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕСІ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕБ-САЙТУ З МЕТОЮ ПОЛПШЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ**

У сучасному світі веб-сайти є вже не тільки інструментом зв'язку та реклами, а в першу чергу складною мережею функцій, які потребують постійного вдосконалення та адаптації. Штучний інтелект вже давно ввійшов у всі сфери нашого життя, і розробка веб-сайтів не є винятком. Використання штучного інтелекту в цій сфері забезпечує не лише підвищення продуктивності, а й покращує користувацький досвід, роблячи сайти більш інтуїтивно зрозумілими.

Однією з ключових проблем, яку може вирішити штучний інтелект, є нестача персоналізації та ефективної адаптації веб-сайтів до потреб користувачів. Традиційні методи розробки та управління веб-сайтами зазвичай не надають достатньої гнучкості та індивідуального підходу до кожного користувача, що призводить до погіршення користувацького досвіду та зниження ефективності сайту.

Головним чином, штучний інтелект може бути використаний для створення інтелектуальних систем, які будуть аналізувати поведінку користувачів та надавати персоналізовані рекомендації та послуги.

Реалізацію цієї ідеї можна поділити на такі пункти:

1) Персоналізовані рекомендації контенту.

В першу чергу, штучний інтелект може проводити аналіз інформації про інтереси, поведінку та взаємодію користувачів з веб-сайтом. Далі, за отриманими даними, можна створити персоналізовані рекомендації контенту.

2) Динамічне адаптивне відображення контенту.

По-друге, штучний інтелект може використовуватися для автоматичної адаптації веб-сайту до контексту користувача, такого як його місцезнаходження, тип пристрою, на якому відбувається перегляд, або час доби. Прикладом цього може слугувати сайт, що автоматично оптимізує відображення контенту для мобільних пристроїв, змінює мову або валюту в залежності від географічного розташування користувача, або пропонує спеціальні пропозиції під час певних часових проміжків.

3) Автоматизація взаємодії з користувачами.

Також можна застосувати інтелектуальні асистенти та чат-боти, засновані на штучному інтелекті, яку будуть автоматично відповідати на запити користувачів, надавати інформацію або вирішувати проблеми. Вони можуть бути програмовані для розпізнавання типових запитів та швидко реагувати на них, зменшуючи час очікування та підвищуючи задоволення користувачів.

4) Оптимізація швидкості та продуктивності сайту.

Такий складний процес як оптимізація швидкості та продуктивності сайту можуть полегшити алгоритми, які автоматично виявлять та виправлять проблеми, такі як повільне завантаження сторінок, непрацюючі посилання або неправильно налаштовані скрипти, що призводять до погіршення користувацького досвіду.

5) Вдосконалення процесу взаємодії з користувачами.

Крім автоматизації взаємодії з користувачами, штучний інтелект також може стати в нагоді для аналізу взаємодії користувачів з веб-сайтом з метою виявлення слабких місць або точок фрустрації. Наприклад, системи аналізу даних можуть виявити шляхи оптимізації процесу оформлення замовлення або реєстрації на сайті, щоб зробити його більш інтуїтивно зрозумілим та зручним для користувачів, що значно підвищить рейтинг веб-сайту чи навіть мобільного застосунку на сучасному ринку.

6) Покращення безпеки та захисту даних.

Наразі не є секретом те, що людина може наражати на небезпеку не тільки в реальному світі, але й в мережі так само. Штучний інтелект може використовуватися для аналізу даних та виявлення потенційних порушень конфіденційності та витоку даних, щоб запобігти їх поширенню й захистити інформацію користувачів веб-додатків.

7) Аналіз та прогнозування трендів в інтернет-маркетингу.

Інтернет-маркетинг у сучасному бізнесі важко переоцінити через динамічність та швидкість змін у поведінках і запитах споживачів. З метою спрощення цього процесу, штучний інтелект може використовувати для аналізу даних про взаємодію користувачів з веб-сайтом для ідентифікації трендів та патернів споживання контенту або продуктів. А в подальшому, на основі цих даних можна розробляти більш ефективні стратегії маркетингу та реклами, які відповідають потребам аудиторії та максимізують результативність рекламних кампаній.

8) Підвищення доступності для людей з обмеженими можливостями.

Це є останнім, але не менш важливим пунктом. В даному випадку штучний інтелект допоможе з автоматичним аналізом веб-сайтів та виявленням елементів, які можуть бути складні для користувачів з обмеженими можливостями, такими як відсутність

альтернативних текстів для зображень або неправильна структура сторінок для користувачів з вадами зору. Це дозволяє розробникам веб-сайтів виправляти ці проблеми, удосконалити тим самим сайти та додатки, зробити їх більш доступним для всіх користувачів.

Отже, при проведенню аналізі можна зробити підсумок, що штучний інтелект надає можливість аналізувати великі обсяги даних про користувачів та їхню взаємодію з сайтом, що дозволяє розуміти їхні уподобання та потреби. Ці інноваційні підходи допомагають веб-сайтам стати більш клієнто-орієнтованими та ефективними у вирішенні потреб своїх відвідувачів. В наш час, коли мережа рясніє навіть не мільйонами, а мільярдами веб-сайтів, дуже важко, а ще й затратно по часу, спроектувати та розробити сайт, що дійсно зацікавить та приверне увагу користувача не тільки своїм дизайном, а й якістю інтерфейса та його зручністю. Таким чином, використання штучного інтелекту в процесі розробки та управління веб-сайтами відкриває нові можливості для створення, в першу чергу зручних, веб-платформ, що індивідуально адаптуються до потреб кожного користувача, забезпечуючи більш ефективний, якісний та приємний користувацький досвід, що в свою чергу надасть можливість сайту виділитись на ринку.

#### Список посилань

1. Глибовець М. М., Олецкий О.В. Штучний інтелект. — Київ : «Києво-Могилянська академія», 2002. — 364 с.
2. Рассел С. Сумісний з людиною. Штучний інтелект і проблема контролю BookChef 2020.
3. Краковецький О. ChatGPT, DALL·E, Midjourney: Як генеративний штучний інтелект змінює світ ArtHuss 2024

УДК 612:656.7 (044)

**Іванець О.Б., канд. техн. наук, доцент**  
**Свєженець В.О.**

Національний авіаційний університет, м. Київ, olchik2104@ukr.net

### МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ БІОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Біомедичні процеси в організмі людини мають складну структуру та складну систему біологічного зворотного зв'язку. Також, необхідно враховувати постійно діючий стохастичний вплив факторів дестабілізації, що призводить до необхідності розробки методів оцінювання функціонального стану біологічної системи на основі ретроспективних даних для можливості формування індивідуальних меж норми, що будуть враховувати специфічні особливості біологічного об'єкту та їх реакцію на дію факторів дестабілізації. Використання існуючих підходів та методів, що застосовуються для оцінювання технічних об'єктів зазвичай неможливо використати для тих самих задач що пов'язані з таким мінливим та непередбачуваним об'єктом як біологічний [1]. В роботі проведенні експериментальні дослідження, що дозволили здійснити збір та обробку медико-біологічних показників з наявністю та відсутністю штучно введених факторів дестабілізації, а саме кофеїну та алкоголю. Також був проведений моніторинг змін медико-біологічних параметрів при розумовому та фізичному навантаженні [2]. Окрім моніторингу зміни медико-біологічних показників, були проведені розрахунки адаптаційного потенціалу на основі формули АП Баєвського та розрахований індекс стресу. Порівняльний аналіз змін медико-біологічних показників з проведеними розрахунками надав змогу отримати метод для оцінювання поточного функціонального стану на основі ретроспективних даних та може бути використаний в якості прогнозування порушення адаптаційних резервів організму [3], що дозволяє оптимізувати наявні фізіологічні резерви організму.[4] Для апробації запропонованого методу був використаний підхід збору, обробки та оцінки

кореляції запропонованого методу з індикатором «зміна самопочуття» [1], який надав змогу відокремити кризові часові точки для яких були проведенні розрахунки, що надали можливості визначити індивідуальні границі норми при наявності та відсутності факторів дестабілізуючих впливів [5]. Аналіз зібраної бази даних медико-біологічних показників дозволяє виявити патерні впливи різних чинників та факторів дестабілізації на стан організму, що може бути корисним для подальших рекомендацій щодо управління стресом та оптимізацією навантажень.

#### Список посилань

1. Shchapov P.F., Ivanets O.B., Sevryukova O.S. Dynamic properties of the time series of results of biomedical measurements Science-intensive technologies 2 (46), 236-244.
2. Burichenko M.Yu, Onikienko Yu. , Arkhyrei M. Quantitative analysis of recurrence of cephalographic data, Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference“ Modern technologies of biomedical engineering” May 17–19, 2023, Odesa, Ukraine. Pp. 23-27
3. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю. Шляхи зменшення невизначеності прогнозу стану організму людини при нейромережевому моделюванні. Системи обробки інформації: зб. наук. праць. Харків: Видавництво харківського університету Повітряних сил ім.І.Кожедуба, 2012. №1(99). С.86-90.
4. Myers C.W. [et al] A model for the genesis of arterial pressure Mayer waves from heart rate and sympathetic activity. Auton Neurosci. 2001. V.91, №1-2. P.62-75.
5. Щапов П.Ф. Качанов М.П. Информационные модели многопараметровых измерений при априорной неопределенности функции преобразования Системи обробки інформації. 2004. №2. С. 225-231.

УДК 681.518:623.1/7

**Резніченко О.А.,** начальник факультету  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
**Магу О.М.,** начальник відділу  
**Даниленко О.В.,** старший науковий співробітник  
**Мирюгін В.І.,** провідний науковий співробітник  
**Бритов Д.М.,** старший науковий співробітник  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, alexej.magu@gmail.com

### УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

Збройне протистояння України повномасштабній агресії російської федерації підкреслює велике значення протиповітряної оборони (ППО) у складовій сил оборони держави. Однак, одним з проблемних питань функціонування системи управління ППО є недостатність автоматизації процесу прийняття рішення при класифікації ситуацій у повітряному просторі й ідентифікації повітряних об'єктів (ПО) [1-2].

Сучасні методи обробки інформації на єдиних інформаційних пунктах дозволяють отримувати інформацію одночасно з кількох різнорідних джерел [3-14], які відрізняються як за своєю точністю, так і оперативністю. Разом з тим, її сумісна обробка дозволяє отримати повну інформацію про стан повітряної обстановки [5, 12, 14].

Розпізнавання поточної ситуацій у повітрі з метою прийняття рішення суттєво ускладнюється ансамблем факторів, серед яких можна відокремити те, що вирішення задачі прийняття рішень щодо ПО здійснюється в умовах неповноти, априорної невизначеності й суттєвої суперечливості вхідних даних. Крім того, процедура класифікації ПО потребує тривалого часу, а наявні комплекси засобів автоматизації не дозволяють здійснювати автоматичну класифікацію ПО [1-2, 5,12, 14].

Одним з шляхів розв'язання наведеного проблемного питання є використання ієрархічної чотирьохрівневої система класифікації ПО [1], що дозволяє оперативнo та чітко визначити ПО за рівнем загрози ще на першому етапі класифікації.

Разом з тим, наведене рішення не враховує особливості та характеристики виявлених цілей, що були отримані засобами не активної радіолокації (пасивними, оптичними та іншими).

В доповіді пропонується модель сумісної обробки ансамблю вихідних даних, отриманих від різнорідних джерел, в якій вагові коефіцієнти, пропорційні точності визначення координат, формуються автоматично на підставі апіорних даних про характеристики засобів інформаційного забезпечення.

Розв'язання завдання прийняття рішення пропонується здійснювати з застосуванням математичного апарату нечіткої логіки з наданням відповідних ознак засобів інформаційного забезпечення, що виявили відповідні цілі в системі обробки інформації.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на пошук шляхів адаптивного уточнення сформованого рішення при зміні статистичних характеристик отриманої інформації від кількох джерел.

#### Список посилань

1. Кукобко С.В., Місценко Р.В., Бритов Д.М., Рошупкін Є.С., & Гайбадулов Б.В. (2023). Пропозиції щодо автоматизації процесу прийняття рішення при класифікації ситуацій у повітряному просторі. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Харків.

2. Кукобко С.В. Структура спеціального математичного забезпечення імітації повітряної обстановки в підсистемі тренажу АСУ спеціального призначення / С.В. Кукобко, М.А. Павленко, Є.С. Рошупкін // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 2. – С. 44-48.

3. Маслов А.Ф., Рошупкін Е.С. & Шрамков А.Ю. (2006). Алгоритмы когерентной обработки широкополосных сигналов на промежуточной частоте с использованием схем фазонастраивающих контуров с управляемыми дисперсионными линиями задержки в крупноапертурных антенных решетках и многопозиционных системах. Прикладная радиоэлектроника, (Т.5, №2), с. 250-254.

4. Рошупкін, Е.С. (2007). Ошибки определения прямоугольных координат источника излучения в пассивных гиперболических измерительных системах. Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил, 2 (7), 156–161.

5. Рошупкін Є., Герасимов С., Кукобко С., Джус В., Таран М., Шулежко В., Гайбадулов Б., Калугін Д., Титаренко Р. (2021). Постановка проблеми створення та експлуатації багатопозиційних систем інформаційного забезпечення та шляхи її розв'язання. *ГРААЛЬ НАУКИ*, (4), 243-252. <http://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.047>

6. Герасимов С.В. Оценка параметров движения маневрирующих воздушных объектов в активной некогерентной системе при обработке информации от нескольких неравноточных источников с разным темпом обзора пространства / С.В. Герасимов, Е.С. Рошупкін, Г.А. Федак, Я.В. Бабий // Військово-технічний збірник. – 2012. – № 1. – С. 18-26.

7. Рошупкін Е.С. Оценка прямоугольных координат цели при объединении результатов независимых первичных измерений в активной многопозиционной системе радиолокации / Е.С. Рошупкін // Зб. наук. пр. ОНДІ ЗС. – Х.: ОНДІ ЗС, 2006. – Вип. 2(4). – С. 156-162.

8. Маслов А.Ф., Рошупкін Е.С. & Шрамков А.Ю. (2005). Организация когерентной обработки на промежуточной частоте при приеме широкополосных сигналов крупноапертурными антенными решетками и многопозиционными системами. Прикладная радиоэлектроника, (Т.4, №4.) 437-440.

9. Herasimov, S.V., Kukobko, S.V., Roshchupkin, E.S., & Roshchupkina, A.E. (2020). Assessment of possibilities of detection and tracking of drones the system of radiolocation stations of anti-aircraft defense. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2020)* – С.270.

10. Кукобко С.В. Оцінювання радіолокаційної помітності безпілотних літальних апаратів як цілей для засобів радіолокації протиповітряної оборони Сухопутних військ / С.В. Кукобко, Є.С. Рошупкін // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І.* – Харків: НТУ “ХПІ”. – С. 99.

11. Ліцман, А.М., Калугін, Д.С., Рошупкін, Є.С., Скопінцев, О.О., & Туленко, М.В. (2019). Дослідження ураження типових групових об'єктів військового призначення при веденні бойових дій (проведення операцій) в сучасних умовах. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: Проблеми та перспективи, Одеса.

12. Беляєв, Д.М., Кукобко, С.В., Ліцман, А.М., & Рошупкін, Є.С. (2019). Пропозиції щодо використання багатопозиційних систем для виявлення балістичних, аеробалістичних та аеродинамічних цілей з визначенням координат точок їх пуску. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: Проблеми та перспективи, Одеса.

13. Tymchenko, S., Kaplun, Y., Roshchupkin, E., Kukobko, S. (2023). Substantiation of Time Distribution Law for Modeling the Activity of Automated Control System Operator. In: Shkarlet, S., et al. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 667. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30251-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30251-0_9).

14. Рошупкін Є.С. Великоапертурна (рознесена) радіолокаційна система: пат. 148518 Україна : G01S7/42, H01Q21/00 / Є.С. Рошупкін, С.В. Герасимов, С.В. Кукобко, М.В. Борисенко, Ю.О. Крихтін, О.Ф. Галицький, Б.В. Гайбадулов, В.В. Джус, І.В. Помогаєв, В.В. Борисов, Ю.О. Чміль, А.Ю. Задорожна. – и 202100336; заявл. 29.01.2021; опубл. 18.08.2021, бюл. № 33/2021, – 7 с.

УДК 612:656.7.086.1 (044)

**Іванець О.Б., канд. техн. наук, доцент**  
**Буриченко М.Ю., канд. техн. наук, доцент**  
**Архирей М.В.**  
**Золотенкова Т.В.**  
**Тирпак А.О.**

Національний авіаційний університет, marina\_arkhyrei@ukr.net

## **МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО СТАНУ БІОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ**

Нелінійні процеси в біологічних об'єктах пов'язані з постійною дією зовнішніх факторів дестабілізації та зворотним біологічним зв'язком для компенсації їхнього впливу та підтримки системи в стабільному стані. Біомедичні сигнали утворюються в результаті складного взаємного впливу всіх підсистем організму одна на одну, і це призводить до формування сигналів, аналіз яких необхідно проводити з урахуванням їх нелінійності. Водночас реакція біологічної системи на постійний вплив зовнішніх чинників може містити цінну інформаційну складову для оцінки адаптаційних резервів організму в даний момент часу та прогнозування функціонального стану при зовнішніх навантаженнях. Роль серцево-судинної системи в оцінюванні функціонального стану цілісного організму описана в багатьох роботах [1, 2, 3, 4]. Для оцінювання стану серцево-судинної системи у роботі застосовано метод рекурентних діаграм. Теоретичні основи методу викладено в [5].

В даній роботі проведено дослідження сигналів електрокардіограм, зокрема, інтервалів RR, які дозволяють оцінити варіабельність серцевого ритму що часто є предметом дослідження для аналізу функціональної стійкості організму людини [1]. У роботі інтервали RR представлені у формі часових рядів, за якими обчислені фазові траєкторії у n-вимірному фазовому просторі станів серцево-судинної системи, кожному стану відповідає певна точка у фазовому просторі. З одновимірного сигналу інтервалів RR за допомогою затримок формується n-вимірний сигнал і відповідна матриця рекурентності, яка може бути відображена на двовимірній рекурентній діаграмі. Метод рекурентних діаграм дозволяє візуалізувати динаміку змін варіабельності серцевого ритму, а використання кількісного рекурентного аналізу [5] дає змогу отримати кількісні оцінки рекурентності динамічної системи. Приклади діаграми відстаней і рекурентних діаграм наведені на рисунках 1 та 2.

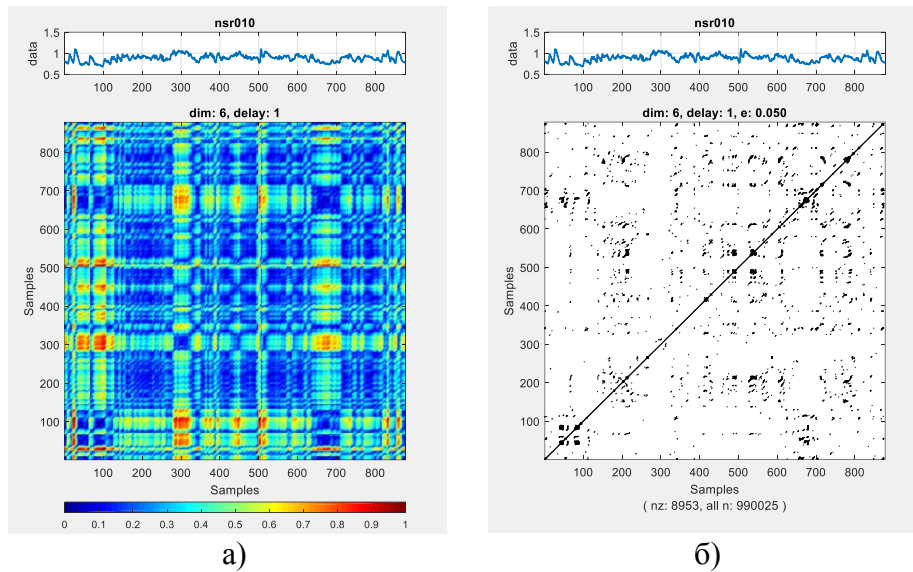


Рис. 1. – Діаграми сигналу nsr010: а) діаграма відстані; б) рекурентна діаграма

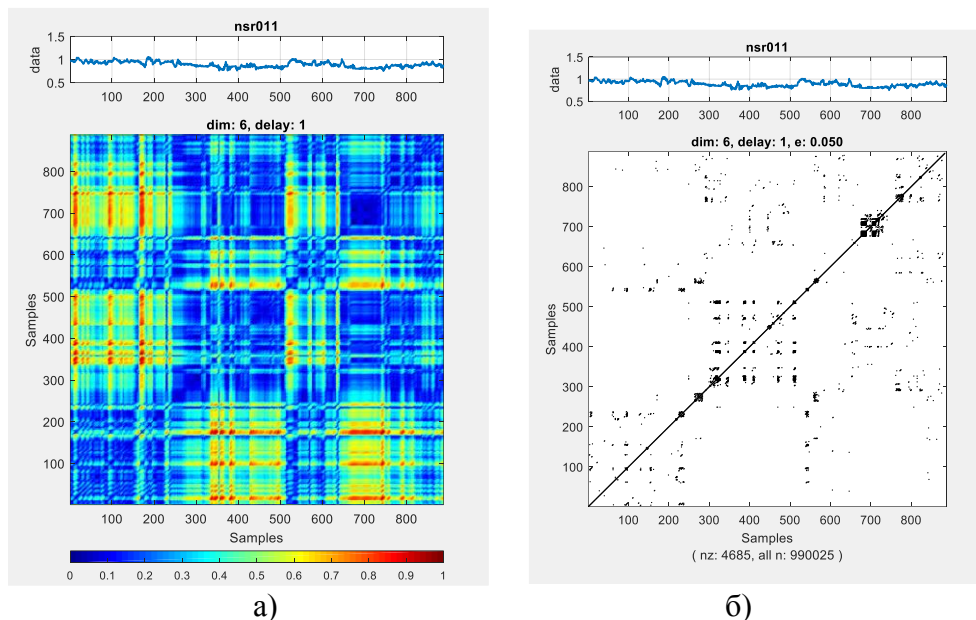


Рис. 2. - Діаграми сигналу nsr011: а) діаграма відстані; б) рекурентна діаграма

У роботі оцінка стабільності функціонування організму оператора як біологічної системи здійснюється шляхом оцінки сталості функціонування серцево-судинної системи [1] як найбільш чутливого індикатора змін в організмі [6]. Кількісний рекурентний аналіз дозволяє оптимізувати кількісну оцінку при прийнятті рішення. Рекурентні діаграми дозволили виявити формування специфічних індикаторів, наявність яких свідчить про порушення стабільності функціонування біологічного об'єкту та настання негативної події в результаті впливу факторів дестабілізації. У той же час різні міри демонструють різний рівень чутливості. Отже, показники ТТ, Lmax і RTmax для першого і другого сигналів становлять ТТ: 3,03 і 4,47; Lmax: 31 і 22; RTmax: 957 і 879 відповідно. При цьому показники DET і LAM змінюються лише на 15-20%. Тому першу групу показників доцільно використовувати для прогнозування порушення функціонального стану біологічного об'єкту [1].

#### Список посилань

1. Shchapov P.F., Ivanets O.B., Sevryukova O.S. Dynamic properties of the time series of results of biomedical measurements. Science-intensive technologies 2 (46), 236-244.

2. Burichenko M., Onikienko Yu., Arkhyrei M. Quantitative analysis of recurrence of cephalographic data. Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference "Modern technologies of biomedical engineering" May 17–19, 2023, Odesa, Ukraine. Pp. 23-27.

3. Schlenker J. Schlenker T., Nedělka T., end all. Recurrence Quantification Analysis: A Promising Method for Data Evaluation in Medicine. December 2014. <https://doi.org/10.24105/ejbi.2014.10.1.7>

4. Riley MA, Balasubramaniam R, Turvey MT. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait Posture*. 1999 Mar; 9(1):65-78. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(98\)00044-7](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(98)00044-7).

5. <http://www.recurrence-plot.tk/>.

6. Хращевський Р.В., Іванець О.Б., Жарова О.В. Математична модель прийняття рішень на основі багатопараметричного критерію. *Наукоємні технології* 2021, № 52(4) p.365-369. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.52.16383>

УДК 004.9

Ткаченко О.С., магістр

Мелешко Є.В., докт. техн. наук, професор

Шуліка Я.П., аспірант

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

[elismelshko@gmail.com](mailto:elismelshko@gmail.com)

## МЕТОД ОБРОБКИ ТЕКСТОВИХ ЗАПИТІВ ДО ГЕНЕРАТИВНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Завданням даного дослідження є створення архітектури системи, що дає можливість користувачу згенерувати зображення за текстовим запитом.

*Генерація зображень* – процес створення нових зображень, використовуючи різні підходи, зокрема нейронні мережі.

Вхідними даними системи є текстовий запит користувача, що включає в себе текст того, що користувач бажає згенерувати та отримати у вигляді зображення. Вихідними даними системи генерації зображень є згенероване, згідно введеного користувачем *промпту*, зображення, яке користувач може зберегти та виконувати над ним дії за потреби.

*Промпт (він же промт)* – текстовий опис того, що ви хочете побачити.

При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-9] було виявлено, що на поточний момент не існує єдиного рішення, яке було б універсальним для будь-якої мови та формату вхідного промпу, тобто не існує відповідного застосунку та/або інтерфейсу який не залежав би від мови промпу, що вводить користувач, та від логіки цього промпу. Тобто якщо користувач бажає отримати візуально привабливіший результат, то потребує додаткових знань про правильне конструювання промпу, як наприклад гайд по створенню промптів [10]. Аналіз останніх досліджень і публікацій підтвердив актуальність проблеми й існування потреби в універсальному промт-генераторі для нейромережі який не залежав би від тексту та синтаксису напису. Тож, у цій роботі було вирішено розробити систему генерації зображень, яка не буде залежати від мови та синтаксису користувацького промпу. У псевдокодах 1 та 2 показаний принцип роботи розробленого методу обробки запиту користувача.

**Псевдокод 1.** Підпрограма перекладу введеного користувачем тексту (за потреби – тобто спочатку перевіряється чи текст введений англійською мовою, і якщо ні то перекладається):

```
функція translate_to_english(текст):  
# Визначення мови тексту  
мова = визначити_мову(text)  
# Якщо визначено мову та це не англійська - переклад  
якщо мова не дорівнює 'en':  
перекладач = створити_пайплайн(задача="переклад", модель="Helsinki-  
NLP/opus-mt-uk-en", пристрій=0)
```



```
переклад = перекладач(текст,  
максимальна_довжина=500)[0]["translation_text"]  
повернути переклад  
інакше:  
# Якщо англійська мова, повертаємо вихідний текст  
повернути текст
```

**Псевдокод 2.** Функція виокремлення ключових слів із тексту. Ця функція міститься у класі `KeywordExtractor`:

```
функція виклик(self, документ):  
частоти_ключових_слів = defaultdict(int)  
подібності_ключових_слів = defaultdict(float)  
# Обробка кожного речення  
для речення в документ.sents:  
ключові_слова_речення = self.видобути_ключові_слова(речення)  
для ключового_слова, подібність в ключові_слова_речення:  
частоти_ключових_слів[ключове_слово] += 1  
подібності_ключових_слів[ключове_слово] = подібність  
речення._.ключові_слова_речення = ключові_слова_речення  
# Сортування ключових слів за частотою в документі  
відсортовані_ключові_слова = сортувати(частоти_ключових_слів.keys(),  
ключ=lambda x: частоти_ключових_слів[x], reverse=True)  
# Конвертація відсортованих ключових слів у кортежі із їхньою частотою та  
балами схожості  
документ._.ключові_слова = [(ключове_слово,  
частоти_ключових_слів[ключове_слово],  
подібності_ключових_слів[ключове_слово]) для ключового_слова в  
відсортовані_ключові_слова[:self.top_n]]  
повернути документ
```

### **Логіка роботи розробленого програмного забезпечення:**

**Етап 1.** На початку роботи програми генерується початковий екран, де потім буде показуватись згенероване зображення. Користувач текстово вводить те, що він бажає побачити на згенерованому зображенні та натискає кнопку «Згенерувати» або клавішу «Enter».

**Етап 2.** Отримані від користувача дані оброблюються, піддаються валідації, та відповідно до результатів обробки, відбувається передача керування генератору відповіді. Генератор відповіді, в свою чергу, генерує відповідь про невалідність вхідних даних, та передачі керування виходу. Або ж, у випадку валідності даних, відбувається передача керування аналізатору введеного тексту.

**Етап 3.** Виконується перевірка тексту промпту на англійську мову. Якщо англійську мову не виявлено – відбувається переклад на неї всього тексту, що ввів користувач.

**Етап 4.** Відбувається формування промпту – з тексту, що сформувався на попередньому етапі, виокремлюються ключові слова, з яких в свою чергу формується промпт-запит для нейромережі, що буде на його основі генерувати зображення.

**Етап 5.** Сформований запит передається до генератора зображень. На основі нього нейроною мережею генерується зображення.

**Етап 6.** Отримане на попередньому кроці згенероване зображення виводиться у відповідне поле веб-інтерфейсу. І далі користувач може виконувати певні дії наприклад: зберегти отриманий файл, скасувати, закрити, ввести інший промпт, тощо.

**Висновки.** Розроблена система успішно вирішує завдання генерації зображень, при цьому не залежить від мови введеного тексту та синтаксису промпту, адже весь текст оброблюється та з нього, методом виокремлення ключових слів, формується промпт для нейромережі. Це підтверджується як теоретичними аспектами, так і результатами тестування розробленого програмного забезпечення.

### Список посилань

1. DeepArt Effects: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.deeparteffects.com/?lang=ru>.
2. OpenAI DALL-E-2: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://openai.com/dall-e-2>.
3. MidJourney: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.midjourney.com/home?callbackUrl=%2Fexplore>.
4. Stable Diffusion: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://stability.ai/stable-diffusion>.
5. Leonardo.Ai: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://leonardo.ai>.
6. StyleGAN GitHub репозиторій: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://github.com/NVlabs/stylegan>.
7. Google Colab ноутбук для StyleGAN: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://colab.research.google.com/drive/1rqDwIddy0eunhhV8yrznG4SNiB5XWFJJ>.
8. BigGAN Google Colab ноутбук: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://colab.research.google.com/notebooks/tpu/BigGAN.ipynb>.
9. Artbreeder: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.artbreeder.com/>.
10. Гайд по промтам Midjourney для новачків [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://itest.com.ua/instrumenty/hayd-po-promtam-midjourney-dlya-novachkiv/>.

УДК 004.056:637.1

**Савченко Т.В., канд. техн. наук, доцент**

**Власенко Л.О., канд. техн. наук, доцент**

Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, [sv\\_t@ukr.net](mailto:sv_t@ukr.net),

**Луцька Н.М., докт. техн. наук, професор**

Національний університет харчових технологій, м. Київ, [lutskanm2017@gmail.com](mailto:lutskanm2017@gmail.com)

### АНАЛІЗ РИЗИКІВ В СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Цифрові двійники для моніторингу та валідації безпеки пристроїв IoT в харчовому виробництві мають важливу роль у забезпеченні захищеності, надійності та безперебійної роботи пристроїв. Вони дозволяють виявляти, відстежувати та реагувати на можливі загрози безпеки, управляти доступом та автентифікацією, аналізувати та прогнозувати ризики, а також забезпечувати аудит та звітність. Це сприяє забезпеченню безпечного та надійного функціонування молочного виробництва та захисту інфраструктури IoT [1, 2].

Особливі переваги для управління операціями мають кібербезпечні цифрові двійники. Кібербезпечні ризики є динамічними та швидкозмінними на основі різноманітних факторів, таких як виявлення вразливостей, доступність експлоїтів та кіберінформація про загрози. Це означає, що значні кіберзагрози можуть з'явитися дуже швидко і вимагати негайної реакції, а технологія кібербезпечних цифрових двійників дозволяє організаціям ретельно оцінювати потенційні вразливості системи в очікуванні атак на критичні компоненти системи, а також досліджувати та оцінювати потенційні вектори атак. Можливість швидко розуміти та тестувати вплив змін конфігурацій на компоненти безпеки системи для протидії будь-яким загрозам є одною з основних переваг використання кібербезпечного цифрового двійника, з поліпшенням реагування та управління ризиками.

Зважаючи на різноманітність пристроїв і систем IoT, таблиця оцінки ризиків та рекомендацій для керування ними повинна бути налаштована та вдосконалена для конкретного виробника та конкретних виробничих процесів, проте, основні аспекти можна використовувати як загальний шаблон для оцінки та керування ризиками в IoT. Нижче наведена таблиця 1 для оцінки ризиків та рекомендацій для кібербезпеки пристроїв IoT в контексті молочного виробництва, що допомагає ідентифікувати потенційні кібербезпекові ризики та надає рекомендації щодо заходів для їх управління на підприємстві. Важливо, щоб виробники та оператори молочного виробництва детально аналізували свої системи, ідентифікували унікальні ризики та вживали заходи безпеки, які найкраще відповідають їхнім потребам та контексту [3].

Таблиця 1 – Оцінка ризиків та рекомендацій для кібербезпеки пристроїв IoT

Ризик	Оцінка ризику	Числова вага ризику	Ранг	Наслідки ризику	Рекомендації для керування ризиками
1	2	3	4	5	6
<i>Кібератаки</i>					
Несанкціонований доступ до систем	Високий ризик	4	4	Потенційна втрата контролю над виробництвом, витрати	Встановлення сильних паролів та багаторівневого контролю доступу. Використання шифрування для забезпечення конфіденційності даних
Маніпуляція даними	Середній ризик	3	6	Пошкодження або втрата даних, вплив на виробництво	Встановлення систем моніторингу цілісності даних. Регулярні резервні копії даних та можливість відновлення
<i>Втрати даних</i>					
Втрата даних через несправність обладнання	Високий ризик	4	3	Втрата важливих даних про виробництво, затримки в роботі	Регулярна діагностика та технічне обслуговування обладнання. Регулярне резервне копіювання даних та відновлення
Витік конфіденційних даних	Середній ризик	3	5	Пошкодження репутації, можливі правові наслідки	Шифрування конфіденційних даних. Встановлення обмеженого доступу до конфіденційних даних
<i>Фізичні ризики</i>					
Вплив навколишнього середовища	Середній ризик	3	7	Пошкодження обладнання внаслідок негоди або інших стихійних лих	Фізичне захист обладнання від негоди, паводків та інших стихійних явищ. Забезпечення резервного живлення та можливості відновлення виробництва
<i>Забезпечення критичності</i>					
Недостатній захист важливих активів	Високий ризик	4	2	Втрата контролю над важливими процесами виробництва	Використання систем автентифікації та авторизації для обмеження доступу. Виявлення та відновлення після інцидентів
Недостатня якість забезпечення	Середній ризик	3	8	Вплив на якість виробництва, затримки в роботі	Регулярне оновлення та патчі для програмного та апаратного забезпечення. Постійний аудит та контроль якості забезпечення

Для кожного конкретного пристрою IoT у молочному виробництві можуть бути важливі інші аспекти безпеки, такі як захист від фізичного доступу до пристрою, використання бездротових комунікаційних засобів або інші унікальні характеристики. На даному етапі

оцінки ризиків для пристроїв Інтернету речей, рекомендації для керування ризиками можуть бути доповнені конкретними стратегіями та підходами для забезпечення безпеки пристроїв та систем.

Рекомендовані заходи сприяють підвищенню рівня кібербезпеки пристроїв ПоТ у молочному виробництві та захисту від потенційних загроз. Безпека повинна бути невід'ємною частиною стратегії використання Інтернету речей в промислових процесах.

#### Список посилань

1. Opirskyy I., Holovchak R., Moisiichuk I., Balianda T., & Haraniuk S. (2021). Проблеми та загрози безпеці IoT пристроїв. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 3(11), 31–42. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.3142>

2. Дзямулич М.І., Фадєєва І.Г., & Шматковська Т.О. (2021). Промисловий Інтернет речей та його застосування у бізнес-процесах. *Економічний форум*, 1(3), 54-59. <https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2021-3-7>

3. Комарець К.А. Управління ризиками в системах Інтернету речей / К.А. Комарець, О.С. Ляшенко // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : тези доп. 13-ї міжнар. наук.-техн. конф., 26-27 квітня 2023 р., Баку–Харків–Жиліна : [у 2 т.]. Т. 2 : секція 2 / Нац. ун-т оборони Азербайджанської Республіки [та ін.]. – Харків : Impress, 2023. – С. 87.

УДК 616.4-004.421-001

**Єременко В.С., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**Монченко О.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний авіаційний університет, м. Київ, monchenko\_olena@ukr.net

**Монченко Т.М., студент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

### ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ В ЕНДОКРИНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Інформаційна модель об'єкта дослідження (ОД) в медичних системах - це абстрактна структура, яка описує інформаційні потоки, параметри, взаємодії та інші аспекти об'єкта, що досліджується у медичному контексті. Ця модель може включати в себе різноманітну інформацію, таку як медичні дані пацієнтів, результати лабораторних тестів, історію хвороби, призначення лікарських засобів тощо.

При обробці ендокринологічних показників [1] виникають свої унікальні виклики. Деякі з них виділено і описано нижче.

**Складність даних.** Ендокринні системи можуть бути дуже складними, і дані про них часто можуть бути великими та містити велику кількість взаємозв'язаних параметрів.

**Потреба у спеціалізованих алгоритмах.** Обробка ендокринологічних даних може потребувати використання спеціалізованих алгоритмів та моделей, які враховують особливості цих систем.

**Динамічність даних.** Багато ендокринних показників можуть змінюватися з часом відповідно до різних фізіологічних та зовнішніх факторів. Обробка таких даних потребує врахування їх динаміки.

**Взаємозв'язки з іншими системами.** Ендокринні системи часто взаємодіють з іншими системами організму, такими як нервова, імунна та інші. Обробка даних має враховувати ці взаємозв'язки.

**Персоналізація.** Оскільки реакція на ендокринні показники може бути індивідуальною, системи обробки даних повинні бути здатні до персоналізації та адаптації до потреб конкретного пацієнта.

**Проблеми конфіденційності.** Як і в будь-якій медичній області, обробка ендокринологічних даних потребує високого рівня конфіденційності та захисту особистої інформації пацієнтів.

Розробка систем обробки даних для ендокринології вимагає спеціалізованих знань та підходів для ефективного вирішення цих викликів.

Для обробки ендокринологічних даних запропоновано використати причинно-наслідковий аналіз як структурований метод ідентифікації впливів. Цей метод дозволяє скомпонувати можливі причини та фактори в узагальнені категорії так, щоб можна було дослідити всі можливі гіпотези. Однак застосування цього методу дозволяє ідентифікувати фактичні причини. Причини визначаються на основі емпіричних даних або емпіричним шляхом. Основним є «Fishbone Diagram» або діаграма Ісікави, як інструмент аналізу, яка забезпечує систематичний погляд на наслідки та причини, які створюють ці ефекти або сприяють їх появі [2]. На основі статистичних даних в роботі була розроблена діаграма Ісікави для визначення факторів впливу на ефективність лікування пацієнтів з артеріальною гіпертензією та ожирінням (рис. 1).

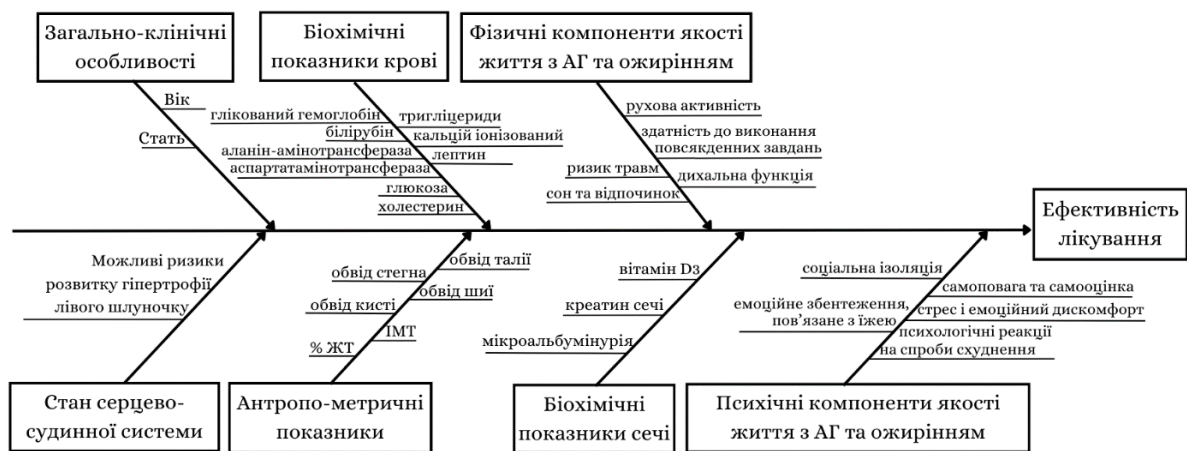


Рис. 1 – Діаграма Ісікави для оптимізації комплексної терапії пацієнтів з артеріальною гіпертензією та ожирінням

Під інформаційною моделлю ОД будемо розуміти сукупність даних про ОД, які характеризують його найбільш істотні властивості і стани, принципово важливі для завдань дослідження та цілей моделювання. Згідно з діаграмою Ісікави для оцінювання ефективності лікування артеріальної гіпертензії (АГ) та ожиріння маємо:

- антропометричні показники  $L = \{l_{ij}\}$ ;
- загально-клінічні особливості  $X = \{x_{ij}\}$ ;
- ЕКГ дослідження  $Y = \{y_{ij}\}$ ;
- біохімічні показники крові  $Z = \{z_{ij}\}$ ;
- фізичні компоненти якості життя з АГ та ожирінням  $F = \{f_{ij}\}$ ;
- біохімічні показники сечі  $S = \{s_{ij}\}$ ;
- психічні компоненти якості життя з АГ та ожирінням  $P = \{p_{ij}\}$ .

Ефективність лікування  $H$  залежить від антропометричних показників  $L$ , загально-клінічних особливостей  $X$ , ЕКГ досліджень  $Y$ , біохімічних показників крові  $Z$ , фізичних компонентів якості життя з АГ та ожирінням  $F$ , біохімічних показників сечі  $S$ , психічних компонентів якості життя з АГ та ожирінням  $P$ :

$$H = a_1L + a_2X + a_3Y + a_4Z + a_5F + a_6S + a_7P + b \quad (1)$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  – коефіцієнти впливу;

$b$  – зміщення.

**Висновок.** В роботі представлена діаграма Ісікави для визначення факторів, що впливають на ефективність лікування пацієнтів з артеріальною гіпертензією та ожирінням

та побудована лінійна математична модель впливів на ефективність лікування. Це допомагає виділити основні аспекти, що слід враховувати при лікуванні цих пацієнтів.

#### Список посилань

1. Єременко В. Метод статистичного оцінювання результатів клінічних досліджень при лікуванні артеріальної гіпертензії та ожиріння / В. Єременко, О. Монченко, С. Корчева, Л. Чубко // Технічні науки та технології. – № 2 (32) (2023). – с. 164-174 <http://tst.stu.cn.ua/article/view/286021/280073>

2. [file:///C:/Users/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0/Downloads/%D0%A1%D1%82%D1%80\\_41\\_48\(3\).pdf](file:///C:/Users/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0/Downloads/%D0%A1%D1%82%D1%80_41_48(3).pdf)

УДК 004.8

**Рибак О.В.** канд. техн. наук, доцент  
**Мукомол В.І.**, аспірант

**Клепацька А.О.**, здобувач бакалавріату

Національний університет "Одеська Політехніка", [klepackaanastasia@gmail.com](mailto:klepackaanastasia@gmail.com)

### ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ПЕРСОНАЛІЗАЦІЮ ТА КОНВЕРСІЮ В ІНТЕРНЕТ-КОМЕРЦІЇ

Робота підтвержує значимість проведення дослідження впливу розумних алгоритмів на електронну комерцію у контексті персоналізації та збільшення конверсії. Проведене дослідження показує, що компанії, які вже використовують штучний інтелект за описаними в статті принципами, отримали значний економічний зріст.

Машинний інтелект допомагає клієнтам орієнтуватися в процесі покупки з безпрецедентним рівнем точності. Рекомендаційна наука лежить в основі революції ШІ. Сьогодні використання таких інтелектуальних алгоритмів є життєво-важливим ресурсом для бізнесу, який сподівається процвітати в сфері онлайн-продажів. Така популярність пояснюється здатністю штучного інтелекту розуміти, передбачати та адаптуватися до різноманітних особистих вимог і вподобань споживачів

В електронній комерції багато категорій товарів розглядають персоналізацію як позитивний фактор, що впливає на рішення споживачів про покупку. Про це свідчить проаналізована література, в якій представлено огляд попередніх досліджень у цій галузі та поглиблений аналіз персоналізації та її впливу на поведінку споживачів [1]. Також зазначається, що вдале впровадження персоналізації тісно пов'язане зі збільшенням доходів на 5-15% [2].

Наразі 51% компаній Інтернет-комерції вже використовують навчені розумні алгоритми для покращення користувацького досвіду й підтримки постійної роботи [3]. ШІ здатен аналізувати інформацію про користувача, зокрема минулі покупки, переглянуті товари та пошукові запити, щоб запропонувати товари, які можуть зацікавити конкретну людину [4]. Предиктивна аналітика може прогнозувати зміни попиту на основі зібраних даних про продажі, сезонних тенденцій і зовнішніх факторів. Завдяки цьому роздрібні торговці можуть відповідно коригувати свої закупки та маркетингові стратегії. Значним також є використання машинного інтелекту для збільшення конверсії. Дев'ять з десяти світових компаній, опитаних у 2023 році, використовують персоналізацію на основі ШІ для масштабування бізнесу. Для вимірювання ефективності ШІ в персоналізації використовують такі критерії, як утримання клієнтів і повторні покупки, а також швидкість і точність даних у реальному часі [5]. Виконавши дослідження, було визначено, що саме завдяки розумним алгоритмам конверсія збільшується у 5,5 разів [6]. Відбувається це оскільки використовуючи дані про користувача точність рекомендацій товарів значно збільшується, що приваблює майбутнього покупця і надає відчуття персоналізованого сервісу.

За визначенням, коефіцієнт конверсії – це кількість людей, які відвідують інтернет-магазин і здійснюють покупки протягом певного періоду часу [2]. Наразі ШІ навчений робити користувач-орієнтовані прогнозування у сфері онлайн-покупок, а це в свою чергу підвищує ймовірність здійснення покупки. Персоналізовані рекомендації є цікавими для клієнтів, тому такий підхід значно збільшує ймовірність переходу на сайт, що і є підвищенням конверсії. Під час дослідження персоналізації було проведено інтелектуальний аналіз і визначено, що зв'язок між двома змінними, намірами щодо купівлі та ставленням до персоналізації, перевищує 0,2 і є статистично значущим. Іншими словами, аналіз показав, що ставлення до персоналізації позитивно впливає на купівельні наміри споживачів [4]. Інше дослідження показало, що до 2025 року штучний інтелект може допомогти онлайн-ритейлерам скоротити витрати на обслуговування клієнтів на 12 мільярдів доларів США на рік [5]. Це означає, що використання надійних технологій штучного інтелекту - вірний і надійний спосіб модернізації бізнесу. Очікується, що до 2027 року 80% компаній роздрібної торгівлі використовуватимуть інтелектуальні автоматизовані системи на основі ШІ.

Впровадження штучного інтелекту 83% компаній називають головним пріоритетом своєї бізнес-стратегії. У 2023 році майже шість з десяти осіб, які приймають рішення у світовій індустрії, вже впровадили генеративний ШІ для створення рекомендацій товарів для продавців, які вони будуть використовувати у своїх фізичних магазинах. Крім того, 55% використовували генеративний ШІ для створення розмовних цифрових помічників для покупок, 52% - для створення віртуальних моделей сторінок товарів, 51% - для створення персоналізованих наборів товарів [7].

Роль штучного інтелекту в електронній комерції, безсумнівно, буде розвиватися в найближчі роки. Алгоритми машинного навчання будуть глибше розуміти вподобання та поведінку користувачів, що дозволить більш точно персоналізувати їх; чат-боти та віртуальні асистенти на основі ШІ стануть розумнішими, надаючи контекстну підтримку клієнтам та миттєві рекомендації щодо продуктів. У міру розвитку цифрового шопінгу компанії, які використовують можливості штучного інтелекту для надання виняткового клієнтського досвіду, будуть вигідно відрізнятися від своїх конкурентів. У захоплюючій подорожі інновацій в електронній комерції важливо впроваджувати штучний інтелект, щоб залишатися конкурентоспроможними і надавати клієнтам досвід покупок, який їх захоплює.

### Список посилань

1. Huang Z., Chen G., Zhao G. Вплив персоналізації на поведінку споживачів [Електронний ресурс] / С. 393-395.
2. Буде Ж., Грегг Б., Ратьє К., Штейн Е., Фольгардт К. Майбутнє персоналізації - і як до нього підготуватися // McKinsey & Company: Маркетинг та продажі. - 2019.
3. Майбутнє персоналізації та CVM вже тут [Електронний ресурс].
4. Вплив персоналізації на купівельні наміри споживачів в онлайн-магазинах [Електронний ресурс] / С. 31-32.
5. Використання генеративного штучного інтелекту (ШІ) в окремих комерційних кейсах у світі в 2023 році [Електронний ресурс] .
6. Як штучний інтелект революціонує рекомендації товарів в електронній комерції [Електронний ресурс] .
7. Найкращі статистичні дані про AI в електронній комерції [Електронний ресурс] .
8. Чандра С., Верма С., Лім В. М., Кумар С., Донту Н. Персоналізація в персоналізованому маркетингу: Тенденції та шляхи розвитку [Електронний ресурс] / Психологія та маркетинг. - 2022. - С. 8-9

УДК:004.4

Роговенко А.І., канд. техн. наук  
Ткаченко К. О., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», arogovenko@gmail.com

## МЕРЕЖЕВА ПІДСИСТЕМА MESH В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РОЄМ ДРОНІВ

Одним із ключових параметрів у системі управління Роєм дронів є необхідність надійного та безперервного забезпечення зв'язку між всіма дронами у мережі. Ефективна комунікація відіграє критичну роль у координації руху, передачі даних та виконанні завдань. Використання мережевої системи Mesh на основі радіомодулів XBee, надає зручний та ефективний механізм для забезпечення цього ключового аспекту, дозволяючи дронам спілкуватися між собою безпосередньо та надійно навіть у складних умовах. Такий підхід гарантує оптимальне використання ресурсів мережі та максимальну ефективність управління Роєм дронів.

Мережева система Mesh - це тип бездротової мережі, в якій кожен пристрій, такий як дрон, сенсор або інші IoT-пристрої, працює як вузол мережі і може взаємодіяти безпосередньо з іншими пристроями у мережі. Основна відмінність від інших типів бездротових мереж, таких як мережа типу "зірка" чи "топологія ланцюга", полягає в тому, що в мережі Mesh кожен пристрій може служити як посередник для передачі даних іншим пристроям (рис. 1) [1].

Ключові аспекти мережевої системи Mesh:

Самоорганізація: В мережах Mesh вузли можуть організовуватися автоматично без центрального керування. Кожен пристрій визначає своїх сусідів та найкращий шлях для передачі даних.

Резервування маршруту: У мережі Mesh дані можуть передаватися через кілька шляхів. Це забезпечує надійність комунікації, оскільки якщо один шлях стає недоступним або перевантажений, дані можуть автоматично перенаправлятися через інший шлях.

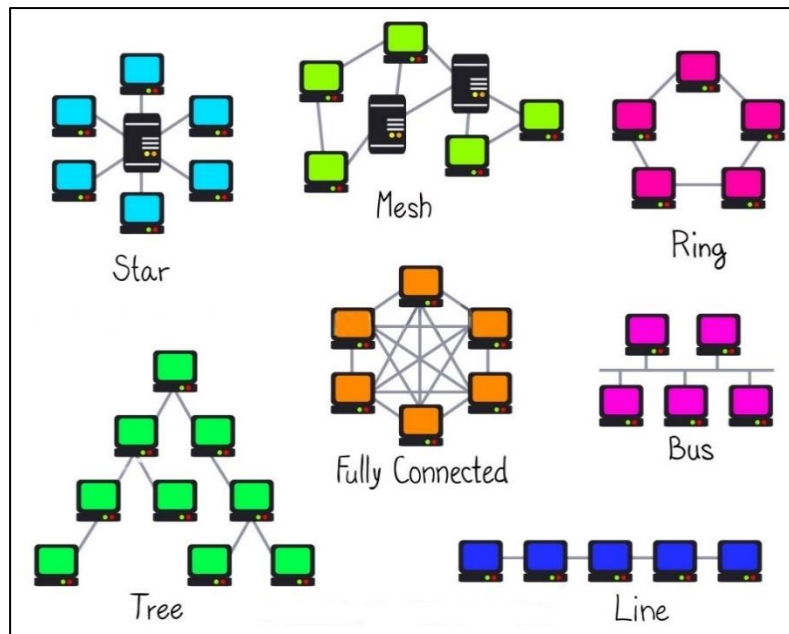


Рис. 1 – Топології існуючих мереж

Самовідновлення: Мережева система Mesh може реагувати на зміни в мережі, такі як виходження з ладу або додавання нових пристроїв, шляхом автоматичного відновлення оптимальних маршрутів передачі даних.



Низька потужність: Багато мереж Mesh розроблені з урахуванням енергоефективності, що дозволяє їм працювати на батарейках або інших джерелах живлення протягом тривалого часу, що також актуально у системі Рій дронів.

Розширюваність: Мережеві системи Mesh можуть легко розширюватися, дозволяючи додавати нові пристрої без необхідності внесення значних змін у структуру мережі.

При організації мережі Mesh для рою дронів, одним з варіантів бездротової технології є ZigBee. Початково стандарт ZigBee орієнтувався на роботу з невеликими обсягами даних на дальність більше середньої. Цей стандарт передбачає, що передавальна апаратура має помірне енергоспоживання. Документ [2] чітко вказує на неможливість передавачі потокового аудіо або відео з високою роздільною здатністю, але ZigBee мережі підтримують реалізації практично всіх протоколів, включаючи стільникові. Стек протоколів ZigBee відповідає принципам ієрархічної семирівневої моделі протоколів передачі даних OSI.

Малогабаритні модулі XBee стандарта ZigBee/IEEE 802.15.4, є найбільш розповсюдженими радіомодулями для побудови промислових мереж передачі даних. При побудові системи управління роєм дронів на основі радіомодулів XBee слід звернути увагу на модулі з індексом PRO. Ці модулі мають підвищену потужність випромінювання й відповідно збільшений радіус дії. В деяких випадках застосування рою дронів виникає необхідність в збільшенні території яку охоплює рій, нехтуючи зменшенням енергоефективності кожного окремого дрона.

Використання радіомодулів XBee на базі протоколу ZigBee у системі управління роєм дронів має кілька ключових переваг. По-перше, XBee модулі працюють на низьких рівнях енергоспоживання, забезпечуючи довший час роботи дронів на одній зарядці. Далі, протокол ZigBee має вбудовані механізми перевірки цілісності даних та автоматичного відновлення зв'язку [3], що забезпечує надійну комунікацію між дронами. Крім того, гнучкість та програмованість XBee модулів, дозволяють легко налаштовувати та програмувати мережеві функції з урахуванням потреб конкретного проекту системи управління Роєм дронів.

Такий підхід забезпечує оптимальне використання ресурсів та максимальну ефективність у встановленні та підтримці зв'язку між дронами.

#### Список посилань

1. Digi. Protocol and Applications with Wireless Mesh Networking [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>. Дата доступу: 31.03.2024.
2. Zigbee Specification [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>
3. TP-Link. Whole-Home Mesh WiFi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tp-link.com/uk-ua/mesh-wifi/>. Дата доступу: 31.03.2024.

УДК 004

**Павлов О.А., докт. техн. наук, професор**  
**Кобельський В.В., студент 5 курсу, магістр-науковець**  
Національний університет «Чернігівська політехніка», [spidor@gmail.com](mailto:spidor@gmail.com)

## МЕТОДОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

### 1. Модифікований метод Терстоуна

#### 1.1. Постановка задачі

Розглядається використання двох універсальних методів для знаходження найкращої альтернативи в умовах невизначеності: модифікований метод Терстоуна та метод обробки імперичної матриці парних порівнянь що належить професору О.А. Павлову та його учням

[1]. На основі проведених статистичних експериментів даються рекомендації по використанню обох методів.

Модифікований метод Терстоуна:

Маємо  $m$  альтернатив  $A_i, i = \overline{1, m}$ . Існує невідома досліднику числова скалярна функція  $F(A_i)$ , аргументом якої є альтернатива. Функція  $F(A_i), i = \overline{1, m}$ , визначає інтегральну числову оцінку якості альтернативи  $A_i$ . Треба знайти найкращу альтернативу.

Г. Терстоун розв'язує задачу в термінах теорії імовірності, а саме постулюються існування випадкових величин  $f(A_i), i = \overline{1, m}$  що являються незалежними, розподіленими нормально

( $n(x, v_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-v_i)^2}{2\sigma_i^2}}$ ), де  $v_i = Mf(A_i) = M_i$  – невідомі, інтегральні характеристики якості альтернативи  $A_i$ ,  $Df(A_i) = \sigma_i^2 = D$  – однакові (відомі чи невідомі). Випробуванням над випадковими величинами  $f(A_i), i = \overline{1, m}$ , вважається вимірювання  $f(A_i)$  що проводяться  $j$ -тим експертом у якого запитують про значення  $M_i, j = \overline{1, n}$ . Результат експертного оцінювання – числа  $x_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ , де  $x_{ij}$ -оцінка  $j$ -того експерта числа  $M_i$ , що вважається реалізацією випадкової величини  $f(A_i)$ .

Треба за результатами проведених випробувань знайти  $\arg \max_{i=\overline{1, m}} M_i$ , що відповідає вибору кращої альтернативи.

Розглянемо подію  $f(A_i) - f(A_j) \geq 0$  і за результатами проведених випробувань (експертних оцінок) знайдемо частість настання цієї події  $\frac{S_{ij}}{N}$ , де  $N = n^2$  чи  $n^2 - n$ . Приймається, що

$$\frac{S_{ij}}{N} \approx P(f(A_i) - f(A_j) \geq 0) \quad (1)$$

Статистичні данні дозволяють сформулювати наступну задачу лінійного програмування (ЛП), що і є запропонованою авторами модифікацією метода Г. Терстоуна:

$$\min y \quad (2)$$

$\forall ij, i \neq j$ , для яких  $\frac{S_{ij}}{N} > \frac{1}{2}$ ,  $-y \leq M_i - M_j - \sqrt{2D} \cdot \Phi_0^{-1} \left( \frac{S_{ij}}{N} - \frac{1}{2} \right) \leq y, M_i \geq M_j$ ;  
 $\forall ij, i \neq j$ , для яких  $\frac{S_{ij}}{N} < \frac{1}{2}$ ,  $-y \leq M_j - M_i - \sqrt{2D} \cdot \Phi_0^{-1} \left( \frac{1}{2} - \frac{S_{ij}}{N} \right) \leq y, M_j \geq M_i$ ;  $\forall ij, i \neq j$  для яких  $\frac{S_{ij}}{N} = \frac{1}{2}$ ,  $-y \leq M_i - M_j \leq y, y \geq 0, M_i \geq 0, i = \overline{1, m}$ . (3) Змінними задачі ЛП є  $y, M_1 \dots M_m$ .

Обґрунтування модифікації полягає в тому, що метод Г. Терстоуна використовує загальну схему метода найменших квадратів для оцінки  $M_i, i = \overline{1, m}$ . Якщо сума квадратів дорівнює нулю (в задачі ЛП (2),(3) у дорівнює нулю) розв'язки однакові. Але якщо сума квадратів, а значить і  $y$  не дорівнюють нулю використання обмежень (3), на відміну від метода найменших квадратів, гарантує в наближеному розв'язку:

Якщо  $\frac{S_{ij}}{N} > \frac{1}{2}$ , то в розв'язку задачі ЛП  $M_i \geq M_j$ ;

якщо  $\frac{S_{ij}}{N} < \frac{1}{2}$ , то в розв'язку задачі ЛП  $M_j \geq M_i$ ;

тобто розв'язок задачі ЛП (2),(3) завжди не протирічить умовам (1),(2), на відміну від використання метода найменших квадратів.

## 1.2. Статистичні дослідження

Мета проведених статистичних досліджень ефективності модифікованого метода Г. Терстоуна полягає в дослідженні чутливості метода до використання нормального розподілу (досліджувались функції щільності випадкових величин  $f(A_i)$ , а) - нормальний розподіл в якому змінюється дисперсія при фіксованому  $M_i$ , а також (б) використання симетричної функції щільності відносно  $M_i$  (в дослідженнях випадкова величина

$f(A_i)$  вважалась сумою випадкової величини що має нормальний розподіл та випадкової величини що має рівномірний розподіл з мат сподіванням рівним  $M_i$  на відрізку  $[M_i - b, M_i + b]$ . В статистичних дослідженнях змінювались як дисперсія нормального розподілу, так і величина  $b$ .

В статистичних дослідженнях використовувалось 10 експертів (реальне верхнє обмеження на кількість експертів), кількість альтернатив – 15, що також можна вважати верхню границю реальної кількості альтернатив в практичних задачах, дисперсія нормального розподілу змінювалась від 1 до 10,  $b$  від 1 до 5. Істинні значення  $M_i$  в статистичних дослідженнях обирались наступні  $M_i = 16-i, i=1,15$ . Реалізації випадкової величини що має нормальний чи симетричний розподіл знаходились з використанням пакету (sympy), для фіксованих значень параметрів розподілу  $f(A_i)$  було проведено 20 експериментів. Задачі лінійного програмування розв'язувались з використанням OR Tools.

### 1.3. Результати досліджень

Аналіз результатів статичних досліджень показує:

1. що метод є критичним до величини дисперсії нормального розподілу (при  $\sigma^2 = 1$ , 100% правильних розв'язків (ПР), при  $\sigma^2 = 2$ , 70% ПР,  $\sigma^2 = 3$ , 62% ПР,  $\sigma^2 = 4$ , 56% ПР, при  $\sigma^2 = 5$ , 43% ПР, при  $\sigma^2 \geq 6$  фактично є не достовірним)

2. для симетричного розподілу (сума нормального та рівномірного) метод стає критичний при  $b = 1 \sigma^2 \geq 6$  ( $\sigma^2 = 6$ , 25% ПР),  $b = 2 \sigma^2 \geq 6$  ( $\sigma^2 = 6$ , 31% ПР),  $b = 3 \sigma^2 \geq 5$  ( $\sigma^2 = 5$ , 40% ПР),  $b = 4 \sigma^2 \geq 5$  ( $\sigma^2 = 5$ , 42% ПР),  $b = 5 \sigma^2 \geq 4$  ( $\sigma^2 = 4$ , 49% ПР)

Таким чином отримані результати статистичних досліджень показують, що метод ефективно працює при симетричних функціях щільності відносно  $M_i$ , тобто не є критичним відносно нормального розподілу, що суттєво розширює область його використання. Метод є критичним відносно дисперсії нормального розподілу та параметра  $b$  рівномірного розподілу, тобто є критичним відносно професійності експертів, що використовуються в опитуванні.

Узагальнений метод обробки імперичної матриці парних порівнянь. Узагальнення полягає в тому що у випадку однакової професійності експертів її елементами є середнє арифметичне відповідних елементів ЕМПП кожного експерта. Для отриманої матриці треба розв'язати наступну задачу лінійного програмування [1].

$$\min \sum_{(ij) \in |\Gamma|} r_{ij} y_{ij}$$

$$-y_{ij} \leq \omega_i - \gamma_{ij} \omega_j \leq y_{ij}, y_{ij} \geq 0, \omega_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

Змінні:  $\forall y_{ij}, \omega_i, i = \overline{1, n}, \forall (ij) \in |\Gamma|$ , де  $r_{ij} = \frac{1}{\sqrt[3]{(\gamma_{ij}-1)^2}}, \gamma_{ij} \geq 1; r_{ij} = 1, \gamma_{ij} = 1$ .

Навідмінну від модифікованого метода Терстоуна, метод професора О.А. Павлова та його учнів містить критерій [1] що гарантує достовірність отриманих результатів як розв'язок задачі лінійного програмування.

### Список посилань

1. Zgurovsky M.Z., Pavlov A.A. Combinatorial Optimization Problems in Planning and Decision Making: Theory and Applications. Springer Nature Switzerland, 2019. — 518 p.

УДК 621.762:678-19

Пастернак В.В., канд. техн. наук, доцент

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, [Shyberko@ur.net](mailto:Shyberko@ur.net)

## ВИБІР МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ІТ-ІНДУСТРІЇ

У сучасному світі, де глобалізація, інтеграція та швидкий прогрес інновацій та технологій визначають наш спосіб життя, WEB-простір є необхідною складовою [1]. Він включає пошукові системи, різноманітні сайти, додатки та автоматизовані скрипти, які полегшують нам життя [2]. Починаючи від простих задач і до складних процесів, автоматизація стала невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. А це у свою чергу стає ключовою проблемою в ІТ-індустрії [3], де вибір мови програмування може вплинути на ефективність та результативність програмного забезпечення або програмних модулів, які потребують роботи з квадратами. Варто відмітити також, що програмний модуль, який надає зручний інтерфейс для визначення та роботи з квадратами, включаючи встановлення їх сторін, обчислення площі та периметру може бути використаний у програмах для геометричних обчислень, де потрібно виконувати основні операції з квадратами, такі як розрахунок площі та периметру, порівняння квадратів за їх характеристиками, або навіть для графічного відображення квадратів у програмах для малювання. Тому вирішення цієї проблеми вимагає більш детального аналізу потреб та характеристик перед прийняттям рішення.

Нами був розроблений код з використанням мови програмування C++, який в основному реалізовує клас `Square`, що представляє квадрат, і містить методи для роботи з його стороною, площею та периметром. У класі є приватне поле `a`, яке відповідає стороні квадрата. Клас також містить конструктор за замовчуванням, методи для отримання та встановлення значення сторони квадрата, а також методи для обчислення площі та периметру квадрата. Крім того, у функції `main()` створюються об'єкти `Circle` та `Square`, з якими взаємодіє напряму користувач. Реалізація коду представлена нижче:

```
class Square
{
private:
    float a;
public:
    Square();
    float getSide(void);
    void setSide(float a1);
    float Area(void);
    float Perimeter(void);
};
Square::Square()
{
    a = 1;
}
float Square::getSide(void)
{
    return a;
}
void Square::setSide(float a1)
{
    a = a1;
```

```
}
float Square::Area()
{
    return a*a;
}
float Square::Perimeter()
{
    return 4 * a;
}
int main()
{
    Circle C1, C2;
    float r;
    cout << "R1="; cin >> r;
    C1.setRadius(r);
    cout << "R2="; cin >> r;
    C2.setRadius(r);
    cout << "R1=" << C1.getRadius() << " A1=" << C1.Area() << "
P1=" << C1.Perimeter() << endl;
    cout << "R2=" << C2.getRadius() << " A2=" << C2.Area() << "
P2=" << C2.Perimeter() << endl;
    Circle *C3;
    C3 = new Circle();
    C3->setRadius(3);
    cout << "R3=" << C3->getRadius() << " A3=" << C3->Area() <<
" P3=" << C3->Perimeter() << endl;
    delete C3;
    Square S1, S2;
    S1.setSide(1);
    S2.setSide(2);
    cout << "a1=" << S1.getSide() << " A1=" << S1.Area() << "
P1=" << S1.Perimeter() << endl;
    cout << "a2=" << S2.getSide() << " A2=" << S2.Area() << "
P2=" << S2.Perimeter() << endl;
    return 0;
}.
```

**Висновок.** Запропонований код використовує об'єктно-орієнтований підхід для моделювання квадратів за допомогою мови програмування C++. Слід відмітити, що клас Square має методи для роботи зі стороною квадрата, обчислення його площі та периметру. А також, даний код демонструє основні принципи ООП на основі мови програмування C++, такі як інкапсуляція, спадкування та поліморфізм. Особливістю даного коду є те, що він реалізовує використання конструкторів за замовчуванням, методів доступу та інших ключових концепцій ООП.

#### Список посилань

1. Пастернак В.В. Еволюція розвитку інформаційних систем та технологій. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : тези доп. XII Міжнар. наук.-практ. конф. (26-27 травня 2022 р.). Чернігів, 2022. С. 180-181.
2. Пастернак В.В. Особливості моделювання методами StarUML. *Математичні методи та моделі технічних і економічних систем*: тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. (22-23 лист. 2022 р.). Тернопіль, 2022. С. 146-147.

3. Пастернак В.В., Сватко А.В. Розробка скриптів для автоматизації з використанням мови програмування Python. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : тези доп. XIII Міжнар. наук.-практ. конф. (25-26 травня 2023 р.). Чернігів, 2023. С. 266-268.

УДК 004.94+62

**Клименко А.В., канд. техн. наук, доцент**  
Національний технічний університет "Дніпровська Політехніка", [wwwovilon@gmail.com](mailto:wwwovilon@gmail.com)  
**Анісімов В.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Анісімов В.М., докт. техн. наук, професор**  
Український державний університет науки і технологій, [03udhtu021990@ukr.net](mailto:03udhtu021990@ukr.net)

## РОЗРОБКА РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРІВ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Визначення кольору є розповсюдженою задачею при розробці автоматичних систем контролю, сортування та ін [1]. Тим не менш, дана задача є нетривіальною, оскільки потребує коштовного обладнання (відеокамера, апаратура для обробки зображень) а також ускладнених алгоритмів обробки даних. Актуальною є задача розробки спрощеної системи визначення кольору, яка не потребує складного обладнання та алгоритмічного забезпечення.

Основна концепція системи полягає в тому, що чутливий елемент повинен передавати дані про освітленість та співвідношення кольорів на плату (для дослідницьких цілей обрано плату Arduino), яка, в свою чергу, буде обробляти отримані дані та надсилати відповідні сигнали для індикації параметрів кольору користувачу інформації.

На рисунку 1 наведено принципову схему системи для вимірювання кольору.

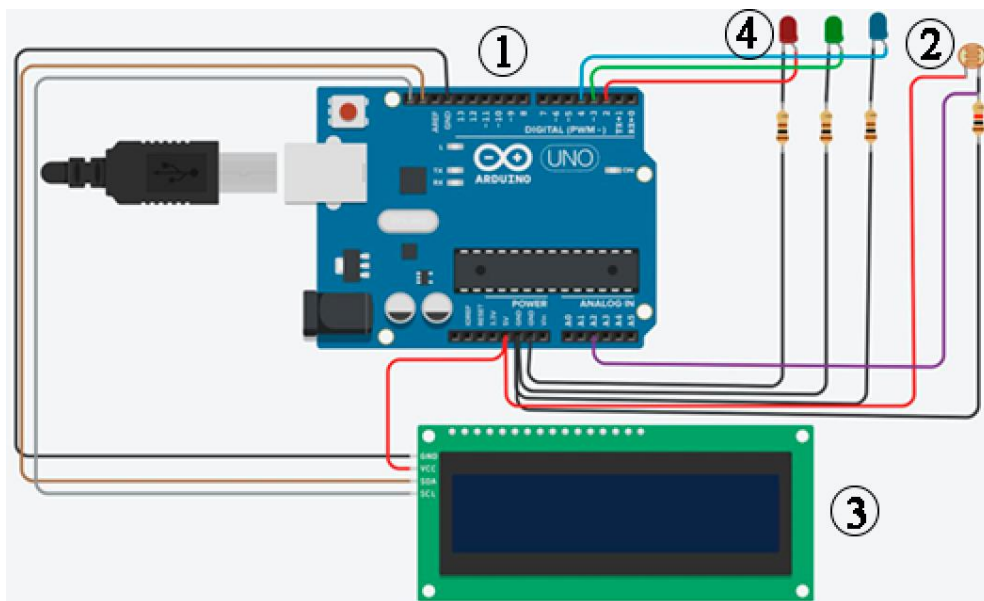


Рис. 1 – Принципова схема системи вимірювання кольору:  
1 – плата, 2 – датчик освітлення, 3 – дисплей, 4 – світлодіоди

Як видно з рисунку 1, система для вимірювання кольорів містить плату Arduino, яка є ядром системи, датчик освітленості, який безпосередньо вимірює параметри освітлення, а також дисплей, що призначений для виведення інформації про колір у текстовому вигляді. Також наявні 3 світлодіоди різних кольорів: червоного, зеленого та синього.

Процес вимірювання кольору зображено на рисунку 2.



Рис. 2 – Процес вимірювання кольору

Загальний алгоритм роботи системи наступний. Об'єкт підсвічується по черзі кольором (червоний, зелений, синій). Під час підсвічування вимірюється кількість відбитого світла датчиком освітленості і результат записується у відповідну змінну (R,G,B). Далі відбувається програмна обробка отриманих даних. Нижче наведено алгоритм обробки для виявлення червоного, зеленого, синього, білого та чорного кольору із врахуванням того, що білий колір (W) – відбиття усіх складових з рівновеликою інтенсивністю ( $W > 360$  з 375), а чорний – відсутність відбиття жодного кольору ( $W \leq 5$ ):

```
int W = G + B + R; // інтенсивність білого кольору

if (W>360){ // > 360 – білий колір, <= 5 – чорний колір
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("White");
}else{
    if (G < R && B < R && W > 5) {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Red");
    }else if (R < G && B < G && W > 5) {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Green");
    } else if (R < B && G < B && W > 5) {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Blue");
    } else if (W <= 5) {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Black");
    }
}
}
```

Розроблений алгоритм і система на його основі дозволяють виконувати автоматичне визначення одиничного кольору, а також можуть бути удосконалені для визначення будь-якої кількості кольорів.

#### Список посилань

1. Клименко, А.В. Віртуалізовані інформаційні системи керування виконавчими механізмами / А.В. Клименко, В.В. Анісімов, В.М. Анісімов // Матеріали доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз», 09 листопада 2023 р. – Дніпро: Середняк Т.К., 2023, С. 17–18.

УДК 004.94:681.518.3:621.38

**Корчан В.М., аспірант**  
**Морозова І.В., канд. техн. наук, професор**  
 Національний авіаційний університет, м. Київ, [korchan.vlad22@gmail.com](mailto:korchan.vlad22@gmail.com)

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ В АРХІТЕКТУРІ ЦИФРОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Модель системи резолюції у вигляді системи масового обслуговування була реалізована шляхом аналізу існуючої реалізації системи резолюції. В існуючій архітектурі використовується не один GHR-сервер, а декілька серверів, що належать МРА (від англ. Multi-Primary Administrators), контрольованим DONA Foundation. Кожен МРА-сервер являє собою GHR, здатний дозволяти запити, що надходять на нього. Шляхом аналізу роботи програмного забезпечення Handling.net було встановлено інфраструктуру серверів глобальних реєстрів верхнього рівня та визначено середню затримку на дозвіл запити цими серверами. В даному програмному забезпеченні всі МРА сервери еквівалентні між собою і запит на дозвіл надходить послідовно на всі сервери і аналізується відповідь, яка прийшла першою. При цьому відсутній облік та аналіз часу затримки до сервера. По суті системи резолюції гарантує, що якщо запит на дозвіл надійшов до системи, то він обов'язково буде обслугований, проте час, що може знадобитися для цього чітко не регламентований. В Таблиці 1 представлені характеристики серверів МРА, що використовуються як GHR у діючій архітектурі системи резолюції.

Таблиця 1 – Характеристики серверів МРА

<i>MPA</i>	<i>IP адреса</i>	<i>Середня затримка на дозвіл, мс</i>
<i>CNRI (Америка)</i>	132.151.20.9; 38.100.138.153; 38.100.138.131; 132.151.20.9; 2001:550:100:6::138:153; 2001:550:100:6::4; 132.151.1.179	243.548
<i>ITU (Швейцарія)</i>	156.106.193.160	71.33
<i>Beijing Flash Newsletter Cas Telecommunication (Китай)</i>	119.90.34.34	473.583
<i>Alicloud (Китай)</i>	47.90.103.77	410.693
<i>ATI – Agence Tunisienne Internet (Туніс)</i>	41.231.118.2	82.510
<i>Gesellschaft Fuer Wissenschaftliche Datenverarbeitung Mbh Goettingen (Німеччина)</i>	134.76.30.197	44.356
<i>Communications And Information Technology Commission (Саудівська Аравія)</i>	86.111.195.107	318.450
<i>Liquid Telecommunications Operations Limited (Кенія)</i>	196.12.152.22	258.450



У розробленій моделі розглядався процес дозволу ідентифікатора. На рисунку 1 зображено основну діаграму процесу обробки закидання системою масового обслуговування, в якій розглядався процес дозволу ідентифікатора. Імітаційне моделювання системи масового обслуговування було проведено у пакеті Microsoft Visio з використанням дискретно-подійного підходу.

Елемент clients надає відповідь джерелу заявок на дозвіл ідентифікаторів, що надходять від пристроїв. Відбувається розподіл на 8 каналів, кожен із яких відповідає інфраструктурі визначеного МРА. Імовірність вибору кожного з каналів у існуючій системі однакова. Кожен сервер МРА є набором з буфера заявок і сервера обробки ідентифікатора. При цьому кількість каналів в сервері обробки відповідає кількості серверів кожного конкретного МРА, наведених у Таблиці 1.

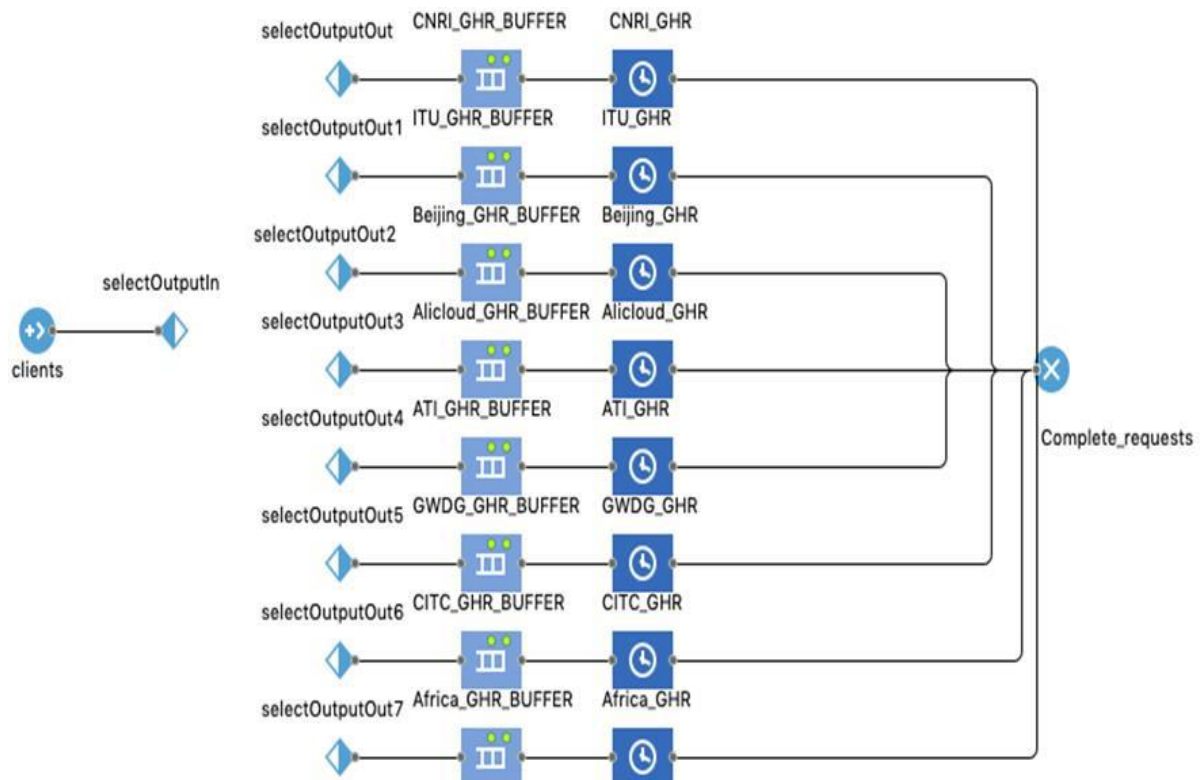


Рис. 1 – Структура блоків імітаційної моделі доступу заявок ідентифікатора в Microsoft Visio

Слід зазначити що, у межах дослідження досліджувалася статистика лише на рівні GHR і не аналізувався наступний рівень роботи системи, тобто, з LHS. Взаємодія з локальними серверами та аналіз їх конфігурації повинен розглядатися окремо в межах конкретної задачі, що вирішується.

#### Список посилань

1. Recommendation ITU-T Y.2066: Common requirements of the Internet of things. – Geneva: ITU-T, 2014 – 12.
2. Proceedings of the World Telecommunication Standardization Assembly, 2016. – <https://www.itu.int/pub/TREG-LIV.1-2016/en>.
3. Gneiting, Tilmann; Schlather, Martin. "Stochastic Models That Separate Fractal Dimension and the Hurst Effect". SIAM Review. 46: 269–282.

УДК 629.735.07 (045)

Салімов Р.М., канд. техн. наук, доцент  
 Морозова І.В., канд. техн. наук, доцент  
 Плуговий А.О., аспірант

Національний авіаційний університет, м. Київ, [rsalimov@nau.edu.ua](mailto:rsalimov@nau.edu.ua)

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ КОНТРОЛЮ РЕЗЕРВУВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДАТЧИКІВ ІОТ

У складних авіаційних системах використовується багаторазове резервування і для всіх виробів існує можливість забезпечити “ідеальний” контроль. Були одержані, а в окремих випадках інтерпретовані та використані для авіаційних систем існуючі математичні моделі з урахуванням виду, кратності резервування та достовірності контролю на основі використання інформації датчиків ІоТ.

Для ненавантаженого резервування з урахуванням кратності резервування, надійності перемикаючого пристрою та достовірності контролю вираз визначення періодичності контролю в загальному вигляді можна записати у вигляді:

$$\tau_k = 2 \{ \Lambda_c / [ \lambda_o \prod_{i=1}^n (\lambda_{P_i} + \lambda_{n_i}) (1 + \beta_i + \beta_i^2) ] \}^{1/n} \quad (1)$$

У свою чергу для навантаженого резервування з урахуванням кратності резервування та достовірності контролю, при однаковій інтенсивності відмов елементів складових резервну групу використовувався залежність:

$$\tau_k = \{ \Lambda_c / [ \lambda_i^{n+1} (1 + \beta_i + \beta_i^2) ] \}^{1/n} \quad (2)$$

де:  $n$  – кратність резервування;

$\Lambda_c$  – інтенсивність відмови резервної групи;

$\beta_i$  – ймовірність того, що несправний елемент під час контролю буде визнаний справним;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмов елементів.

Приймемо умову, що з певною періодичністю здійснюється контроль технічного стану резервних елементів та усуваються всі виявлені несправності, що відповідає достовірності контролю  $Pk=1$  ( $\beta=0$ ).

Для випадку ненавантаженого резервування, з кратністю резервування  $n=1$ , абсолютно надійним пристроєм, що перемикає, і достовірністю контролю  $Pk=1$  отримаємо:

$$C_{уд.экс.} = Ck1 / \tau k + C_{пo} \lambda o \lambda p \tau k / 2 . \quad (3)$$

Для мінімізації очікуваних втрат періодичність контролю резервних елементів визначаємо за умови:

$$\delta C_p / \delta \tau k = 0 . \quad (4)$$

Звідси:

$$\delta / \delta \tau k \{ Ck1 / \tau k + C_{пo} \lambda o \lambda p \tau k / 2 \} = 0 , \quad (5)$$

або

$$- Ck / \tau k^2 + C_{пo} \lambda o \lambda p / 2 = 0 \quad (6)$$

У результаті періодичність контролю, що забезпечує мінімальні питомі витрати, можна визначити за формулою:

$$\tau k(opt. Cmin) = [ 2 Ck / (C_{пo} \lambda o \lambda p) ]^{1/2} \quad (7)$$

У загальному випадку для ненавантаженого резервування вираз (7) набуде вигляду:

$$\tau_k^{(opt. C_{min})} = \{ 2^n \sum C_{k_i} / [ C_{no} \lambda_o \prod_{i=1}^n (\lambda_i + \lambda_{n_i}) (1 + \beta_i + \beta_i^2) ] \}^{\frac{1}{(n+1)}} \quad (8)$$

де:  $n$  – кратність резервування;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмов елементів;

$\beta_i$  – ймовірність того, що непрацездатний елемент буде визнаний справним.

Аналогічно отримано залежності для навантаженого резервування:

$$\tau_k^{(opt. C_{min})} = \frac{1}{\lambda_1} \{ C_{k_i} \frac{1}{[ C_{no} (1 + \beta_i + \beta_i^2) ]} \}^{\frac{1}{(n+1)}} \quad (9)$$

#### Список посилань

1. Салімов Р.М. Управління процесами технічного обслуговування авіаційної техніки на основі сучасних інформаційних технологій: дисертація канд. техн. наук: 05.22.20. – Київ. міжн. унів. цив. авіації, Київ, 2000. – 74 с.

2. Козлов О.А. Оптимізація режиму обслуговування авіаційної техніки. / Козлов О.А., Гатушкін О.А., Чехаровський І.Т. // Збірник «Моделювання у забезпеченні безпеки польотів». – К.: КПЦА, 1987. – с.131-138.

УДК:004.93

Роговенко А.І., канд. техн. наук

Веремєєнко В.В., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», arogovenko@gmail.com

### ПРОГРАМНІ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАЛИХ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ.

Винахід безпілотних летальних апаратів став викликом для безпеки у всіх сферах діяльності людства. Це поставило питання для виявлення та ідентифікації цих літальних апаратів.

Як зазначено в звіті Sandia National Laboratories [1] для виявлення та ідентифікації летальних апаратів можна використати фізичні явища:

- Відбиття фотонів електромагнітного випромінювання;
- Відбиття певного поляризаційного стану фотонів;
- Відбиття променів, які випромінює система активного пошуку;
- Акустичне випромінювання;
- Електромагнітне випромінювання від приладів, які розташовані на борту або сигналу керування апаратом;
- Індукція магнітного поля.

Також в цьому звіті були описані переваги та недоліки методів виявлення та ідентифікації за характеристиками: складності реалізації, вартості та залежності від типу летальних апаратів.

Конструктивні особливості БПЛА: використання на малих висотах, малі розміри, побудовані з матеріалів, які прозорі для електромагнітних хвиль привели до того, що всі перелічені методи мають обмежені можливості для виявлення.

Розглядаючи конструктивні особливості БПЛА їх можна розподілити на типи [1]:

- **БПЛА літакового типу зроблених з матеріалів прозорих для радару** - мають невелику відбивну площу для відбиття сигналу радару, має камуфляж від спостереження камерами, малий або відсутній звуковий профіль, мала кількість металевих компонентів;

- **БПЛА мультикоптери** - мають невелику відбивну площу для відбиття сигналу радару, комерційно розповсюджені, прості в керуванні і не потребують досвіду для пілотування, суттєвий акустичний профіль, нові моделі мають системи автоматичного пілотування, що виключає можливість виявлення по випроміненню керуючого сигналу.
- **БПЛА з використанням реактивного двигуна** - мають невелику відбивну площу для відбиття сигналу радару, можуть розвивати великі швидкості, компоненти які можна придбати в мережі.

Отже можна побачити, що характеристики малих летальних апаратів стають на заваді їх виявленню. Розрахунки наведені в дослідженні “Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів” [2] можна побачити, що всі методи мають обмеження виявлення за дистанцією та збільшення похибки виявлення.

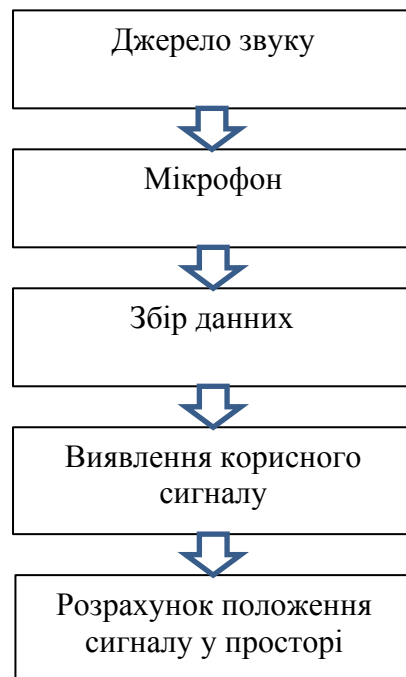


Рис. 1 – Типова схема програмно-апаратного комплексу для виявлення БПЛА

Розглянемо типову схему, яку пропонують дослідники при створенні програмно-апаратного комплексу для виявлення БПЛА див. рис. 1 [3]. Більшість реалізацій спираються на потік даних від джерела, система визначення корисний/не корисний сигнал, підсистема обчислення. Недолік цієї реалізації є те, що кожна система має окрему підсистему прийняття рішень. Можливість розміщення декількох акустичних систем спостереження дозволить зменшити вплив перешкод, які спричиняє зміна вітру. Електромагнітне стеження за сигналом керування не дозволяє визначити напрям та відстань до БПЛА, але дозволяє з високою імовірністю визначити наявність загрози в протипагу від акустичного методу, який має низьку спроможність до виявлення. Можна зробити висновок, що розробка децентралізованого збору інформації від датчиків дозволить компенсувати недоліки методів виявлення та ідентифікації.

#### Список посилань:

1. “UAS Detection, Classification, and Neutralization: Market Survey 2015” Gabriel C. Birch, John C. Griffin, Matthew K. Erdman. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1222445>
2. Даник Ю.Г. Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів / Ю.Г. Даник, І.В. Пулеко, М.В. Бугайов // Вісник ЖДТУ. – 2014. – № 4 (71) – С. 71-80

3. "Direction and Distance Finding using Microphone Array of a Sound Source" Bhanu Priya R, Lavanya H\*, Lavanya Ganesh, Althuru Pranathi and Girish.G.K. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2017/07/Paper211503-1504.pdf>

УДК 004

Літвінов В.Ф., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Галаш М.В.  
Мельнік Д.В.

Національний університет «Одеська політехніка», [9480708@stud.op.edu.ua](mailto:9480708@stud.op.edu.ua)

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ДИЗАЙН ТА ГЕЙМПЛЕЙ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР

**Анотація.** Було досліджено вплив, інтеграцію та розвиток технологій штучного інтелекту у створенні дизайну та геймплею комп'ютерних ігор. Розглядаються перспективи та виклики, пов'язані з використанням штучного інтелекту у розробці ігрового середовища та механік ігрового процесу. Детально розглядаються основні напрями використання штучного інтелекту у геймдеві, а також потенційні перешкоди та шляхи подолання них.

**Ключові слова:** штучний інтелект, неігрові персонажі, ігровий досвід, контент, графіка.

Штучний інтелект (ШІ) відіграє важливу роль в еволюції ігрової індустрії, революціонізувавши як дизайн ігор, так і досвід гравців. За ці роки технології ШІ значно еволюціонували, вдосконалюючи ігри у спосіб, який колись було неможливо уявити. Від процедурної генерації контенту до адаптивних NPC (неігрових персонажів) і динамічної розповіді, ШІ відкрив нові можливості, перевизначивши межі інтерактивних розваг.

Розвиток ШІ в іграх. Інтеграція штучного інтелекту в ігри була поступовою, але вражаючою подорожжю. Він почався з рудиментарних алгоритмів ШІ, які контролювали базову поведінку ворога або пошук шляху в таких іграх, як Pac-Man і Space Invaders. Однак із розвитком обчислювальних потужностей і вдосконаленням методів ШІ розробники почали використовувати його для більш складних цілей.

GoldenEye 007 (1997) був одним з перших шутерів від першої особи, де ігрові боти реагували на рухи та дії гравця. Вони вміли використовувати укриття та виконувати переكاتи, щоб уникнути влучення. Творці цієї гри пізніше поліпшили ігровий штучний інтелект (ШІ) в грі Perfect Dark. Важливою вадю ШІ в обох іграх було те, що боти завжди знали точне місцезнаходження гравця, навіть якщо жоден з них не бачив його.

Halo (2001) також містив ігровий ШІ, який вмів використовувати транспортні засоби та дотримувався базових принципів командних дій. Боти розпізнавали загрози, такі як кинуті гранати та ворожі транспортні засоби, і відповідно переміщалися, щоб уникнути небезпеки.

Far Cry (2004), шутер від першої особи, показав дуже просунутий ШІ для свого часу. Вороги реагували на стиль гри гравця та намагалися оточити його. Вони використовували реальні військові тактики, але не знали точного місця розташування гравця.

F.E.A.R., випущений у 2005 році, вніс значний внесок у розвиток ігрового ШІ. Бої в грі відбувалися в закритих приміщеннях, боти працювали у команді, використовували середовище як укриття та застосовували різні тактики залежно від ситуації. Вони адекватно реагували на гранати, кинуті гравцем.

Відеогра The Elder Scrolls IV: Oblivion використовувала дуже складний ігровий ШІ для неігрових персонажів. Ця технологія, відома як Radiant AI, дозволяла неігровим персонажам приймати рішення та взаємодіяти з оточуючим світом більш складно, ніж у попередніх версіях гри. Radiant AI був розроблений спеціально для The Elder Scrolls IV: Oblivion і пізніше розширений у The Elder Scrolls V: Skyrim. Ця технологія також використовується в інших іграх від Bethesda, таких як Fallout 3, Fallout: New Vegas і Fallout 4. [1]

S.T.A.L.K.E.R.: Call of Pripyat (2009)-друге самостійне доповнення до гри «S.T.A.L.K.E.R.: Тінь Чорнобиля». ШІ керує рухом ворогів, їхніми діями та взаємодією з іншими NPC. Вороги реагують на загрози, змінюючи свою стратегію. [2]

**Ігровий дизайн на основі штучного інтелекту.** Технологію штучного інтелекту також можна використовувати для створення автоматично генерованого контенту під час розробки гри. Наприклад, штучний інтелект може автоматично генерувати ігрові карти, використовуючи процедурні алгоритми створення карт. Це економить час і витрати розробників ігор на ручну розробку карт, а також дає гравцям цікавіший ігровий досвід, пропонуючи різноманітні карти.

Згідно з дослідженням International Journal of Human-Computer Studies, понад 70% опитаних розробників ігор включили у свої ігри ту чи іншу форму процедурної генерації контенту за допомогою штучного інтелекту, називаючи основними перевагами збільшення ефективності та розмаїття.

**Ігрова графіка та анімації.** Штучний інтелект (ШІ) трансформує ігрову індустрію, покращуючи ігрову графіку та анімацію. Графічні та анімаційні інструменти, створені штучним інтелектом, використовуються для створення більш реалістичних ігрових вражень. Використання штучного інтелекту в ігровій графіці та анімації дає змогу геймдизайнерам створювати ігри вищої якості з поліпшеною візуальною графікою та анімацією.

**Покращення ігрового досвіду.** ШІ також відіграє ключову роль у покращенні ігрового досвіду. Просунуті системи штучного інтелекту сприяють більш захоплюючому середовищу, дозволяючи NPC демонструвати складну поведінку, вчитися на взаємодії з гравцями та динамічно адаптуватися до мінливих обставин у ігровому світі. Ця взаємодія робить ігровий світ більш реалістичним та цікавим. Наприклад, коли персонаж зі штучним інтелектом розпізнає ваші рухи, взаємодіє з вами або реагує на них, це збагачує ігровий досвід.

Опитування, проведене провідним інститутом ігрових досліджень, показало, що 85% гравців вважають, що NPC зі штучним інтелектом значно покращують загальний ігровий досвід, забезпечуючи більш складні та реалістичні взаємодії.

**Машинне навчання та нейронні мережі.** Машинне навчання, підмножина штучного інтелекту, змінило правила гри в іграх. Нейронні мережі, ключовий компонент машинного навчання, були використані для створення ШІ, який може навчатися та адаптуватися на основі досвіду. Ця технологія дозволяє NPC розвиватися і розробляти стратегії в режимі реального часу, що призводить до більш непередбачуваного і складного ігрового процесу.

Згідно з галузевими звітами, понад 60% AAA-студій інтегрували алгоритми машинного навчання у свої ігри для створення адаптивних і чуйних NPC, збагачуючи ігровий досвід гравців.

**Адаптивна складність гри з ШІ.** AI може аналізувати поведінку гравців, уподобання та рівень навичок, щоб динамічно адаптувати ігровий досвід. Він може регулювати рівні складності, пропонувати персоналізовані завдання та надавати допомогу чи підказки, коли це необхідно. Це допомагає підтримувати зацікавленість гравців і адаптувати гру до індивідуальних стилів гри. [3]

Обробка природної мови (NLP). НЛП знайшло своє місце в іграх завдяки розпізнаванню голосу та розумінню природної мови. Такі ігри, як Skyrim і Fallout, використовують НЛП, щоб дозволити гравцям взаємодіяти з NPC за допомогою голосових команд, створюючи більш захоплюючий та інтерактивний ігровий досвід.

Дослідження, проведене провідною компанією з розробки ігрових технологій, показало, що залученість гравців збільшилася на 40%, коли НЛП було інтегровано в ігри, що демонструє потенціал цієї технології для посилення занурення гравців у гру.

**Процедурна генерація та ігрові світи.** Процедурна генерація в поєднанні з алгоритмами ШІ уможливила створення величезних і різноманітних ігрових світів. Такі ігри, як No Man's Sky, використовують процедурну генерацію для створення цілих галактик з унікальними планетами, екосистемами та цивілізаціями. Такий підхід забезпечує практично безмежні можливості для дослідження, утримуючи гравців у грі протягом тривалого часу.

Статистичні дані розробника No Man's Sky, компанії Hello Games, показали, що після впровадження процедурної генерації, керованої штучним інтелектом, рівень утримання гравців збільшився на 30%, що підкреслює її вплив на залучення гравців і довгостроковий інтерес до гри.

**Виклики та етичні міркування.** Хоча штучний інтелект приніс значний прогрес в ігрову індустрію, він також створює виклики та етичні міркування, які розробники та зацікавлені сторони індустрії повинні враховувати.

Штучний інтелект - це складна сфера, яка вимагає великих знань у галузі програмування та ресурсів для ефективної реалізації. Розробники повинні мати глибоке розуміння алгоритмів і методів ШІ, щоб уникнути створення нереалістичного ігрового досвіду, який розчарує або викликає розчарування.

Крім того, ШІ є ресурсомістким і вимагає значних обчислювальних потужностей і ресурсів, особливо при спробі створити реалістичну поведінку NPC і процеси прийняття рішень. Обмеження кількості NPC у грі та налагодження штучного інтелекту може збільшити час розробки.

Налагодження ШІ може бути особливо складним при виявленні проблем, пов'язаних зі складними процесами прийняття рішень або поведінкою.

Хоча розробка або ліцензування інструментів на основі штучного інтелекту можуть бути дорогими, це необхідні інвестиції для студій розробки ігор, щоб залишатися конкурентоспроможними. Невеликі компанії можуть зіткнутися з обмеженнями в доступі до величезних обсягів даних, необхідних для навчання алгоритмів штучного інтелекту для створення високоякісної ігрової графіки та анімації.

Питання, на яке також варто звернути увагу, - це тестування та налагодження ШІ. Оскільки штучний інтелект складний і постійно еволюціонує та розвивається, важливо переконатися, що він працює належним чином і не спричиняє жодних помилок, збоїв чи вразливостей. Для тестування та налагодження ШІ розробники повинні використовувати систематичні та ретельні методи, такі як модульне тестування, інтеграційне тестування або регресійне тестування, які можуть перевірити функціональність і якість коду та систем ШІ. Також слід використовувати інтерактивні та візуальні інструменти, такі як Gizmos в Unity, Visual Logger в Unreal Engine або Behavior Debugger, які можуть відображати і перевіряти стан і поведінку ШІ під час виконання.

**Конфіденційність і безпека даних гравця.** Ігри, які використовують штучний інтелект, часто збирають великі обсяги даних про користувачів, щоб персоналізувати та адаптувати їх до їхніх потреб. Однак це викликає занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки даних користувачів. Роздрібним торговцям слід приділяти пріоритет запровадженню надійних політик щодо даних і надійних підходів до безпеки для захисту інформації користувачів.

Опитування, проведене індустріальним наглядовим органом, показало, що 78% гравців стурбовані конфіденційністю своїх даних в іграх, які використовують штучний інтелект. Дуже важливо докласти всіх зусиль для захисту цих даних.

**Майбутні перспективи та інновації.** Дивлячись у майбутнє, інтеграція інтелекту в ігри є багатообіцяючою, з кількома значними інноваціями на горизонті, включно з емоційно-інтелектуальними неігровими персонажами.

**Емоційно інтелектуальні NPC.** Дослідники досліджують методи надання неігровим персонажам (NPC) емоційного інтелекту, що дозволяє їм ідентифікувати емоції інших людей і реагувати на них. Цей прогрес має потенціал для встановлення міцніших зв'язків між гравцями та ігровими персонажами, підносячи розповідь і заплутаність світу на неперевершений рівень.

**Історії, створені штучним інтелектом.** Розповідь історій, наповнена штучним інтелектом, стає все складнішою, дозволяючи іграм динамічно адаптувати свої сюжетні лінії на основі вибору гравців і взаємодії. Ця технологія має потенціал для революції в іграх, знайомлячи геймерів з персоналізованим досвідом, який постійно розвивається.

**Розробка ігор з ШІ.** Інструменти штучного інтелекту розробляються, щоб допомогти розробникам ігор у різних аспектах, включаючи художній дизайн, виправлення, тестування та створення ресурсів. Ці інструменти спрощують процес, заощаджуючи час і ресурси.

**Висновки.** Незаперечно, що штучний інтелект кардинально спосіб створення та поєднання ігор. Технології штучного інтелекту розширюють межі інтерактивного досвіду, від процедурного створення контенту до адаптації NPC і налаштування гри. Однак етичний маркетинг і збереження особистих даних гравців є важливими сферами, які вимагають постійної поваги та аналогічних практик розвитку, але часто обділені увагою. Оскільки індустрія ігор продовжує розвиватися, існує великий потенціал для більш захоплюючого, персоналізованого та корисного ігрового досвіду завдяки інтеграції технологій зі штучним інтелектом.

#### Список посилань

1. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9\\_%D1%88%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%88%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82)
2. [https://uk.wikipedia.org/wiki/S.T.A.L.K.E.R.:\\_%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BA\\_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BF%27%D1%8F%D1%82%D1%96](https://uk.wikipedia.org/wiki/S.T.A.L.K.E.R.:_%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BA_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BF%27%D1%8F%D1%82%D1%96)
3. <https://uk.sharpcoderblog.com/blog/concept-of-ai-in-game-development>
4. Georgios N. Yannakakis, Julian Togelius Artificial Intelligence and Games, 2018. С. 203– 255

УДК 629.7.051

Кузьміч О.Є.

Аркушенко П.Л. канд. техн. наук, старший дослідник

Андрушко М.В.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, alesvit71@ukr.net

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСКУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ

Наявність великої кількості розвідувальних та ударних БпЛА, які застосовуються на полі бою викликає потребу прийняття негайних заходів по маскуванню особового складу та техніки.

Разом з тим, переважна більшість розвідувальних БпЛА обладнанні телевізійними камерами, які дозволяють виявляти техніку навіть під маскувальними сітками. Тому, важко переоцінити значення маскувальних засобів, які за допомогою новітніх технологічних рішень дозволяють надійно та комплексно приховати від ворожих БпЛА важливі об'єкти. Уміле здійснення маскуванню багато в чому сприяє досягненню скритності підготовки та раптовості дій військ, збереженню їх живучості та боєздатності [1].

Останнім часом промисловість виготовляє різні зразки маскувальних комплексів, які унеможливають виявлення техніки в оптичному, тепловому та радіолокаційному



діапазонах. Дані розробки потребують швидкої та об'єктивної оцінки заявлених маскувальних характеристик.

Виявлення замаскованого об'єкта можливо зробити за допомогою відносно не дорогого тепловізійного прицілу, які застосовуються на полі бою (типу INFIRAY (IRAY) GENI GH50R, ThermEye Vidar 360L). Але це не надає можливості отримати кількісні показники теплофізичних властивостей маскувального комплексу в цілому та його складових.

Для прийняття обґрунтованих рішень при проектуванні, виготовленні та експлуатації маскувального комплексу необхідно застосовувати метод при якому визначаються його комплексні теплофізичні властивості.

Деякі теплофізичні властивості матеріалів визначаються показниками, такими як термічний опір, теплопровідність (коефіцієнт теплопровідності) від яких залежить діапазон встановлених температур в шарах пакету матеріалів в стаціонарному режимі [2]. Перепад температури на межах двох шарів у визначеному режимі прямо пропорційний їх тепловим опорам, тому визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалу при відомій його товщині зводиться до визначення перепадів температури в даному режимі на двох шарах матеріалів.

При визначенні теплового опору, теплопровідності, коефіцієнта теплопровідності та питомої об'ємної теплоємності використовується шар еталонного матеріалу з відомими теплофізичними характеристиками в сукупності з пакетом матеріалу, що досліджується.

Дослідження проводяться у визначеному режимі, значення температур в окремих шарах пакету фіксується після закінчення перехідного процесу. Використання вимірювальної техніки до яких відносяться термографічні системи (типу VarioCAM® HD Research, FLIR та ін.), яким характерна висока точність вимірювань, роздільна здатність, універсальна концепція інтерфейсу для збору даних цифрової термографії в режимі реального часу за допомогою спеціального програмного забезпечення дозволяють застосовувати у різних областях науки і техніки та суттєво скоротити час потрібний для проведення вимірювань, обробку та аналіз результатів.

Сучасна термографічна система у відмінності від морально застарілих спеціалізованих приладів розроблена для універсального застосування. Компактна та міцна конструкція, а також високий ступінь захисту дозволяє проводити дослідження як в лабораторних умовах так і в умовах полігону.

Для визначення важливих теплофізичних властивостей матеріалів з яких складається маскувальний комплект проводиться поетапне експериментальне визначення теплофізичних характеристик теплоізоляційних матеріалів.

Перший етап проводиться у динамічному режимі, при якому визначається коефіцієнт температуропровідності [3].

Другий етап проводиться у стаціонарному режимі, при якому визначаються коефіцієнт теплопровідності, і такі важливі показники, як тепловий опір і питома теплоємність [3].

При проведенні експерименту використовується плоский нагрівальний елемент з термостатом для підтримання температури в необхідному діапазоні. Даний нагрівальний елемент імітує нагрітий до робочої температури двигун техніки. Перед ним закріплюється еталонний матеріал, а потім теплоізоляційні матеріали в тій послідовності в якій вони входять до маскувального комплексу, що досліджується.

Визначення характеристик проводиться, шляхом безконтактного вимірювання температури термографічною системою, пошарово і під час нагріву та під час охолодження нагрівального елемента. На останньому етапі вимірювання проводяться при застосуванні маскувального пакета в цілому.

Запропонований метод визначення теплопровідності матеріалів з використанням еталонного зразка можна вважати надійним і універсальним, так як має ряд суттєвих переваг, які полягають в використанні сучасних термографічних засобів та дозволяють визначити цілий комплекс теплофізичних характеристик текстильних матеріалів з високою

точністю, для чого не потребує додаткових пристроїв, що значно скоротить час і енерговитрати.

#### Список посилань

1. Підвищення ефективності заходів маскуванню військ та об'єктів – Методичні рекомендації військам (силам) Збройних Сил України, Видавництво “Центр учбової літератури”, 2024. – 5 с
2. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир, 1984. – 610 с.
3. Струмінська Т.В. Розробка захисних рукавиць від впливів високотемпературного середовища. Автореферат к.т.н. – К.:КНУТД, 2013. – 21с.

УДК 004.45:004.057.02

**Акимов О.О., канд. техн. наук,  
Чуприна В.М., докт. техн. наук,  
Собора А.І., канд. техн. наук,  
Холодний Р.В., наук. співроб.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (м. Черкаси)

### ЩОДО НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вимоги до показників надійності технічних об'єктів регулюються ДСТУ 2860-94, який установлює терміни та визначення основних понять у галузі надійності. Стандарт поширюється на технічні об'єкти, до яких відносяться технічні системи, програмні засоби, людино-машинні системи, споруди, машини, апаратура, пристрої та елементи, надійність яких розглядається у кожному конкретному випадку на етапах розробки

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

До апаратних засобів для оцінки рівня надійності в залежності від умов застосування, технічного обслуговування можуть використовуватися наступні показники:

- імовірність безвідмовної роботи,  $R(t_1, t_2)$ ;
- середній наробіток до відмови, МТТФ;
- середній наробіток між відмовами, середній наробіток на відмову, МТТФ;
- середня тривалість відновлення, МТТР;
- коефіцієнт готовності,  $A(t)$ .

В міжнародних стандартах до якості програмного забезпечення приділяється значна увага. Стандарти SQuaRE визначають моделі якості програмного забезпечення та систем, що використовуються для визначення вимог, розробки показників та вимірювання якості [1]. Модель якості – це сукупність класів показників. Характеристики можна розділити на підхарактеристики та, у деяких випадках, на підпідхарактеристики.

Система стандартів SQuaRE складаються з п'яти основних розділів: вимоги до якості 2503n, моделі якості 2501n, вимірювання якості 2502n, оцінка якості 2504n, управління якістю 2500n, а також розділ розширення 25050 – 25099.

Однією з характеристик якості програмного забезпечення є надійність – ступінь виконання системою, продуктом або компонентом певних функцій за зазначених умов протягом встановленого періоду часу [2].

Показники надійності розділяють на внутрішні та зовнішні.

Внутрішні показники надійності використовуються для прогнозування того, чи задовольнить дана система/програмний продукт певним потребам у надійності при розробці системи/програмного продукту.

Зовнішні показники якості надійності використовуються для оцінки характеристик, пов'язаних з поведінкою системи, частиною якої є програмний продукт під час виконання тестування, для визначення ступеня надійності програмного продукту в системі під час функціонування.

При визначенні якості програмного продукту рекомендується використовувати наступні характеристики надійності [3]:

1. Показники стабільності: корекція помилок, напрацювання на відмову; частота відмов, покриття тестами;
2. Показники готовності до роботи: доступність системи, середній час недоступності;
3. Показники відмовостійкості: запобігання збоєм, надмірність компонентів, середній час повідомлення про відмову;
4. Показники відновлювальності: середній час відновлення, повнота резервної копії даних.

При визначенні надійності програмних продуктів необхідно враховувати вимоги міжнародних стандартів серії SQuaRE.

#### Список посилань

1. ДСТУ ISO/IEC 25000:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Настанова до SQuaRE (ISO/IEC 25000:2014, IDT).
2. ДСТУ ISO/IEC 25010:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
3. ДСТУ ISO/IEC 25023:2019 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем програмних засобів та їхнього оцінювання (SQuaRE). Вимірювання якості систем та програмних продуктів (ISO/IEC 25023:2016, IDT).

УДК 621.941-229.3:531.133

Войтовецька М.Є., аспірант, наук. керівник  
Квятковський Р.С., аспірант  
Іванов Д.Д., студент

Національний університет «Одеська політехніка», [ivanov.8865068@stud.op.edu.ua](mailto:ivanov.8865068@stud.op.edu.ua)

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПОРІВНЯННЯ АГІЛЬНИХ МЕТОДОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЕКТАМИ З ТРАДИЦІЙНИМИ ПІДХОДАМИ

Агільні методології управління, такі як Scrum, Kanban та Extreme Programming (XP), базуються на ітераційному та інкрементному підходах до розробки. Недавнє дослідження [1] показало, що команди, які використовують агільні методології, мають швидшу швидкість доставки продукту і вищу задоволеність клієнтів. Вони покликані спростувати процес розробки шляхом розбиття його на короткі цикли, що дозволяє швидко адаптуватися до змін. Однією з головних переваг агільних методологій є здатність до реагування на зміни вимог, що дозволяє забезпечити високу якість продукту та вчасне його випуск на ринок.

Традиційні методології, такі як Waterfall та V-модель, характеризуються послідовним проходженням етапів розробки, починаючи від аналізу вимог і закінчуючи випуском продукту. Вони надають можливість більш детального планування і передбачення результатів проекту, а також визначення конкретних критеріїв успіху. Однак, деякі дослідження [2] вказують на те, що традиційні методи можуть бути менш ефективними у сучасному швидкозмінному середовищі, коли вимоги швидко змінюються або коли потрібно швидко реагувати на зміни на ринку.

Порівнюючи агільні та традиційні підходи, можна визначити, що обидва мають свої переваги та недоліки. З одного боку, агільні методології надають більшу гнучкість і

здатність до адаптації, що може бути критичним у сучасному швидкозмінному середовищі. З іншого боку, традиційні методи можуть бути більш ефективними у стабільних умовах, коли вимоги добре визначені і малоімовірні зміни. Дослідження [3] показує, що вибір методології повинен залежати від конкретних умов та потреб проекту, а також від культурних та організаційних особливостей компанії.

Дослідження Gartner показало, що команди, які використовують агільні методології, частіше досягають своїх цілей та мають більшу задоволеність результатами проекту, порівняно з командами, які використовують традиційні підходи. Дослідження Standish Group показало, що лише 29% проектів, які використовують традиційні методи управління, успішно завершуються, у порівнянні з 65% проектів, які використовують агільні методи.

Крім того, відомі наступні приклади успішного впровадження:

1. Spotify - це приклад компанії, яка успішно впровадила агільні методології у управління своїми продуктами. Вони використовують модель "Spotify Squad", де команди працюють над конкретними аспектами продукту, що дозволяє їм бути більш гнучкими та швидше реагувати на зміни.

2. Amazon - ще один приклад компанії, яка успішно використовує агільні методології. Вони використовують принцип "two-pizza team", де команди розміру двох піц, що дозволяє їм бути більш автономними та швидше впроваджувати зміни.

Ці приклади та дослідження демонструють, що агільні методології можуть бути дійсно ефективними управлінськими інструментами для IT-проектів, забезпечуючи більшу гнучкість та швидкість реагування на зміни, що може призвести до більшого успіху проекту.

Підсумовуючи проведений аналіз ефективності агільних методологій управління IT-проектами з традиційними підходами, можна зробити висновок, що обидва підходи мають свої переваги та недоліки. Агільні методології, такі як Scrum, Kanban та Extreme Programming (XP), виявляються більш ефективними у сучасних умовах, коли вимоги швидко змінюються або коли потрібно швидко реагувати на зміни на ринку. Вони дозволяють командам бути більш гнучкими та швидше адаптуватися до змін, що призводить до більшої задоволеності клієнтів та швидшої доставки продукту.

З іншого боку, традиційні методології, такі як Waterfall та V-модель, можуть бути більш ефективними у стабільних умовах, коли вимоги добре визначені і малоімовірні зміни. Вони надають можливість більш детального планування і передбачення результатів проекту, а також визначення конкретних критеріїв успіху.

Вибір методології повинен залежати від конкретних умов та потреб проекту, а також від культурних та організаційних особливостей компанії. Дослідження показують, що команди, які використовують агільні методології, частіше досягають своїх цілей та мають більшу задоволеність результатами проекту, порівняно з командами, які використовують традиційні підходи.

Отже, вибір методології управління IT-проектами повинен бути обґрунтований та залежати від конкретних умов та потреб проекту та організації.

#### Список посилань

1. Сміт Дж. Перевага Agile: як нова методологія може покращити ваш бізнес // Harvard Business Review. – 2018. – Т. 25, № 3. – С. 45-52.
2. Джонс С. Традиційні проти Agile: порівняльне дослідження методологій управління проектами // Журнал управління проектами. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 78-92.
3. Gartner Research. Вплив методологій Agile на рівень успішності проектів. – Stamford, CT, 2020.
4. Standish Group. Chaos Report: звіт Standish Group про рівень успішності проектів. – Boston, MA, 2021

УДК 004.043

Рибак О.В., канд. техн. наук, доцент  
 Національний університет «Одеська політехніка», olga.vol.rybak@gmail.com

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ JAVA MESSAGE SERVICE У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Технологія JMS (Java Message Service) є однією з найпоширеніших та найбільш потужних технологій для обміну повідомленнями між складовими розподілених систем в середовищі Java. Вона надає ефективні та надійні механізми для передачі повідомлень між різними компонентами програмного забезпечення. Розглянемо особливості цієї технології, що дозволяють створювати на її основі розширювані та гнучкі застосунки, частини яких можуть взаємодіяти асинхронно та незалежно одна від одної.

Архітектура JMS базується на моделі клієнт-сервер і передбачає, що відправники (продюсери) створюють та відправляють повідомлення, а отримувачі (споживачі) отримують та обробляють ці повідомлення. Основна ідея архітектури JMS полягає в тому, що відправник і отримувач не повинні безпосередньо взаємодіяти між собою. Замість цього вони взаємодіють через посередників – провайдерів повідомлень, які забезпечують надійну та ефективну доставку сповіщень. Робота посередників забезпечується через службу каталогів простору імен Java Naming and Directory Interface (JNDI). Основними компонентами архітектури JMS є провайдери повідомлень, клієнти JMS, пункти призначення та адміністративні об'єкти.

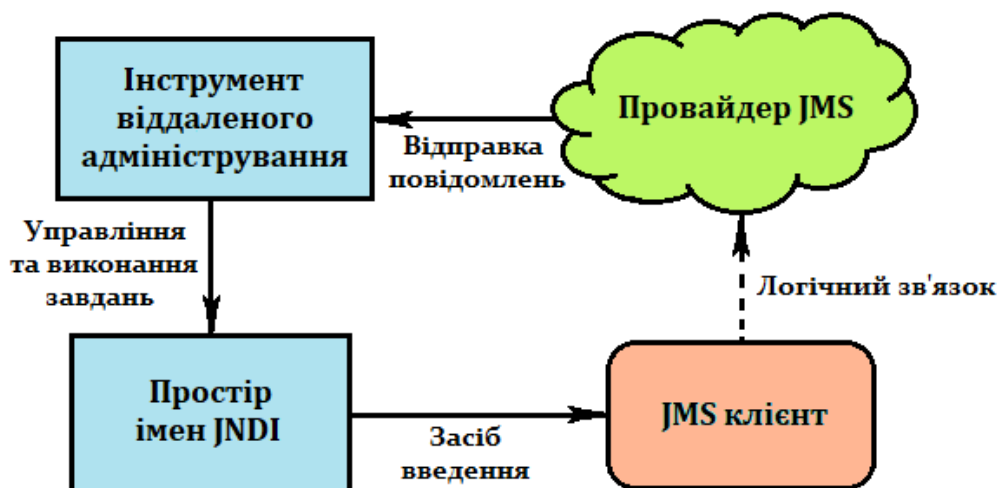


Рис. 1 – Архітектура програмного застосунку JMS

Провайдер повідомлень в JMS забезпечує функціональні можливості для відправки, отримання та обробки повідомлень. Провайдер повідомлень може бути реалізований як частина сервера додатків або як окремий компонент. Він відповідає за збереження повідомлень, їхню маршрутизацію та доставку до відповідних пунктів призначення.

Клієнт JMS використовується для взаємодії з провайдером повідомлень. Клієнти JMS можуть бути відправниками (продюсерами), отримувачами (споживачами) або обома одночасно. Вони використовують JMS API для створення, відправлення та отримання повідомлень.

Пункти призначення в JMS – це об'єкти, які визначають місця, куди відправляються та звідки отримуються повідомлення. Пункти призначення можуть бути чергами (Queue) або темами (Topic). Черги використовуються для послідовного отримання повідомлень одним або декількома споживачами. Темі використовуються для розповсюдження повідомлень до всіх підписаних на них споживачів.

Адміністративні об'єкти використовуються для конфігурації та управління JMS. Вони дозволяють налаштовувати пункти призначення, керувати ресурсами, контролювати права доступу та виконувати інші адміністративні завдання.

З точки зору взаємодії зі встановленим програмним забезпеченням, технологія JMS передбачає розподілений обмін повідомленнями між відправником та отримувачем через проміжну систему, яка забезпечує доставку повідомлення. Відправник може бути програмним компонентом, який генерує дані або події, які потрібно розповсюджувати іншим компонентам. Отримувачі, з свого боку, підписуються на певні пункти призначення та отримують повідомлення, які надійшли до цих пунктів. Основною перевагою моделі роботи JMS є те, що відправники та отримувачі можуть працювати асинхронно. Відправник не очікує підтвердження від отримувача щодо успішного отримання повідомлення, і це дозволяє забезпечити ефективну та надійну комунікацію в розподілених системах.

Технологія JMS пропонує вибір між різноманітними типами повідомлень для передачі даних та сповіщень між складовими компонентами системи. В залежності від особливостей, кожен тип повідомлень використовується з конкретною метою та має свою логіку функціонування.

Point-to-Point (P2P) повідомлення використовуються для передачі сповіщень між одним відправником та одним отримувачем. Відправник створює повідомлення та надсилає його до спеціальної черги (queue). Отримувач підписується на цю чергу та отримує повідомлення з неї. Після успішного отримання сповіщення, воно видаляється з черги. Цей тип повідомлення забезпечує надійну та безпомилкову доставку даних, оскільки кожне повідомлення адресоване конкретному отримувачу.

Publish/Subscribe (Pub/Sub) повідомлення використовуються для передачі сповіщень від одного відправника до кількох отримувачів. Відправник створює повідомлення та надсилає його до теми (topic). Отримувачі підписуються на цю тему та отримують повідомлення, які були надіслані до неї. Кожен отримувач, що підписаний на тему, отримує копію сповіщення. Pub/Sub повідомлення дозволяють широко розповсюджувати повідомлення серед багатьох компонентів системи та підтримують асинхронну комунікацію.

Request/Reply повідомлення використовуються для передачі запиту від клієнта до сервісу та отримання відповіді від сервісу. Клієнт створює повідомлення-запит та надсилає його до черги запитів (request queue). Сервіс, який обробляє запити, підписується на чергу запитів та отримує повідомлення-запит. Після обробки запиту, сервіс створює повідомлення-відповідь та надсилає його до черги відповідей (reply queue). Клієнт, який очікує на відповідь, підписується на чергу відповідей та отримує повідомлення-відповідь від сервісу. Request/Reply повідомлення дозволяють забезпечити синхронну комунікацію між клієнтом та сервісом.

Кожен з представлених типів повідомлень в JMS забезпечує різні можливості та підходи до взаємодії між компонентами системи. Вибір типу повідомлення залежить від конкретних потреб і вимог програмного проекту. Правильне використання різних типів повідомлень у межах JMS дозволяє створювати багатофункціональні системи з надійною та ефективною комунікацією.

З огляду на особливості архітектури, взаємодії зі встановленим програмним забезпеченням, можливість вибору типу повідомлень та використання додаткових компонентів, таких як провайдери повідомлень та черги, застосування технології JMS допомагає забезпечити надійність, масштабованість, гнучкість та розширювану комунікацію між програмними компонентами у розподілених системах, що використовують обмін повідомленнями.

#### Список посилань

1. Richards M., Monson-Haefel R., Chappell D. Java Message Service: Creating Distributed Enterprise Applications. «O'Reilly Media, Inc.», 2009. – 330 p.

2. Basic JMS API Concepts [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.oracle.com/cd/E19316-01/819-3669/6n5sg7ch2/index.html>
3. JMS - API Architecture [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.tutorialspoint.com/jms/jms\\_api\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/jms/jms_api_architecture.htm)

УДК 004.42

**Серік О. А., аспірант,**  
**Гайдаснко О.В., канд. техн. наук, доцент**  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв,  
oleks.serik@gmail.com

## **ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЗМІСТОМ ІТ ПРОЕКТІВ**

Програмне забезпечення є невід’ємною складовою для управління проєктів. За допомогою інформаційних систем які виконують функції представлення, зберігання та доступу до інформації у менеджерів проєктів з’являються можливості до автоматизації і стандартизації певних процесів. Результативність команди проєкту значно покращуються.

Управління змістом є важливим чинником успішної реалізації проєкту. Без процесу управління змістом розробка проєкту набуває риси хаотичної роботи. Як зазначає Деренська Я. М. управління змістом проєкту це процеси визначення, обґрунтування та контролю проєктних робіт, необхідних для успішного виконання проєкту[1]. За визначенням Кузьмініх О. В. зміст проєкту – це опис робіт, які необхідно виконати, щоб отримати продукт[2]. Відповідно процес формування змісту проєкту можна поділити на певні етапи: визначення вимог, написання технічного завдання, декомпозиція та розподіл завдань, оцінка трудомісткості, організація засобів комунікації стейкхолдерів, документування розробленого проєкту.

Для управління змістом можна виділити наступні програмні засоби:

1. Confluence. Програмний продукт який використовуються для створення технічного завдання, опису специфікації програмного забезпечення, бази знань, вимог до продукту та документації проєкту. Використання шаблонів дозволяє швидко організувати веб-сторінки в єдиному форматі. Зручні можливості організації документів дає змогу впорядковувати великі масиви інформації. Команди отримують можливість спільної роботи з документами.

2. Figma. Інструмент для створення дизайну UI/UX. Дизайнери мають змогу створювати прототипи інтерфейсу з інтерактивними елементами. Можливість сумісної роботи дизайнерів з проєктними менеджерами, замовниками та іншими стейкхолдерами.

3. Miro. Інтерактивна онлайн дошка. Необхідний інструмент для комунікації команди в умовах віддаленої роботи. Дозволяє користувачам спільно генерувати ідеї, проєктувати, фіксувати результати нарад.

4. Google Meet. Сервіс для онлайн конференцій, чат. Використовується командами для комунікацій онлайн.

5. Redmine. Програмне забезпечення для управління проєктом. Дозволяє планувати спринт, назначати і відстежувати процес виконання задач і фіксувати помилки. Відображає завантаженість членів команди і ведення обліку затраченого часу. Можливість формування звітів для відстеження прогресу реалізації проєкту.

Отже, проаналізовано програмне забезпечення для управління змістом ІТ проєктів, яке необхідне при формуванні вимог, написанні технічного завдання, комунікацій і розробки. Запропоновані програмні інструменти дозволять ефективно організувати роботу команди та забезпечити доступність інформації стейкхолдерам, і сприятимуть успішному результату виконання проєкту.

### Список посилань

1. Деренська Я. М. Алгоритм управління змістом проекту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/16232/1/Алгоритм управління змістом проекту](https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/16232/1/Алгоритм_управління_змістом_проекту)
2. Кузьмініх В. О. Моделі та засоби управління ІТ-проектами: навч. посібник / Кузьмініх В. О., Коваль О. В., Тараненко Р. А. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 222 с.
3. 13 best product management tools in 2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.atlassian.com/agile/product-management/product-management-tools>

УДК 629.620]

**Кисилевська А.Ю., канд. техн. наук  
Левицький І.Ю.**

Національний університет «Одеська політехніка», kisilevskaya07@gmail.com

## **ПОРЯДОК ЕКСПЕРТНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ТА ІНСПЕКЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ АВТОЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

Проблема безпечного перевезення і зберігання нафти, газу та інших похідних легкозаймистих рідин є актуальною. До небезпечних вантажів відносяться речовини, вироби і матеріали, що мають властивості, які можуть призвести до вибуху, пожежі, загибелі, травмування, отруєння, опромінення, захворювання людей і тварин, пошкодження споруд, транспортних засобів, можуть заподіяти матеріальні збитки та шкоду довкіллю [1]. Перевезення небезпечних вантажів автоцистернами підвищує ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій на дорогах.

Під час експлуатації автоцистерни схильні до корозій, деформацій, руйнування обладнання, утворення дефектів та тріщин тощо.

Отже під час експлуатації автоцистерн необхідно проводити їх своєчасну технічну діагностику з визначенням працездатності, залишкового ресурсу і термінів подальшого використання ємнісного обладнання, що дасть змогу мінімізувати кількість техногенних аварій і катастроф [2].

Автоцистерна для перевезення небезпечних вантажів є спеціалізованим транспортним засобом, щодо якого вимагається наявність протоколу перевірки його технічного стану. Перевірка цистерн відбувається шляхом проведення первинних, проміжних, періодичних і позапланових перевірок. Експертизу технічного стану автоцистерн проводять спеціалізовані організації.

У процесі оцінки відповідності автоцистерн для перевезення небезпечних вантажів законодавчим і нормативним вимогам щодо їх безпечності при виробництві і під час експлуатації застосовують інспекційний контроль [3], який здійснюють органи з інспектування, акредитовані на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC 17020 [4].

Для провадження інспекційної діяльності орган з інспектування повинен мати необхідну компетентність та згідно з НПАОП 0.00-7.10-07 [5] мати в штаті як мінімум двох атестованих технічних експертів з промислової безпеки з кожного напрямку діяльності.

Згідно з [4] органи з інспектування повинні діяти неупереджено, при цьому вміти визначати та керувати цими та іншими ризиками. Орган з інспектування повинен мати відповідні технічні засоби, устаткування, методи та процедури для виконання робіт з метою інспектування.

Під час експертизи технічного стану автоцистерн проводяться їх випробування за параметрами, які стосуються як якості, так і безпеки. Випробування проводяться випробувальними лабораторіями [6], акредитованими на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [7].



Організація, яка проводить перевірки технічного стану устаткування підвищеної небезпеки також повинна мати статус експертної [8]. Обсяг експертних обстежень залежить від класу резервуара, його технічного стану, умов експлуатації і складається з таких видів робіт:

- аналізування технічної документації;
- дослідження стану зовнішніх і внутрішніх поверхонь елементів обладнання;
- вимірювання та оцінка геометричної форми та стійкості;
- вимірювання та оцінка товщини металу (товщинометрія);
- дефектоскопія зварних з'єднань (швів) і основного металу;
- вимірювання та оцінка твердості металу несучих елементів;
- оцінка металографічних структур основного і наплавленого металу;
- встановлення хімічного складу металу несучих елементів;
- випробування на міцність і щільність шляхом навантаження (наливання водою);
- спеціальні методи контролю: акустично-емісійний контроль, термографія, тензометрія, магніто-анізотропний та ін.

Усі експертні роботи має проводити кваліфікований персонал. Вимоги до кваліфікації та сертифікації фахівців з неруйнівного контролю регулюють наказ [8] та стандарт ДСТУ EN ISO 9712:2022 [9].

Таким чином обґрунтовано доцільність проведення оцінки відповідності технічного стану автоцистерн для перевезення небезпечних вантажів шляхом інспектування. Це допоможе інспекційному органу доказово вибудувати схеми оцінок і гарантує достовірність отриманого результату інспектування.

#### Список посилань

1. Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» від 6.04. 2000 р. № 1644-III. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1644-14#Text>.
2. Технічна діагностика обладнання та конструкцій: навч. посіб. / О. М. Карпаш, М. О. Карпаш, П. М. Райтер, І.В. Рибіцький [et al.]. – Івано-Франківськ : ФНТУНГ, 2020. – 413 с.
3. Європейська Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ) від 30.09.1957. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_217#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217#Text)
4. Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів інспектування (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT; ISO/IEC 17020:2012, IDT): ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2019. – [Чинний від 2021-01-01].
5. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (НПАОП 0.00-7.10-07): постанова Кабінету Міністрів України від 26.05.2004 № 687. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-%D0%BF>.
6. Про затвердження Порядку перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів: наказ Мінінфраструктури України та МВС України від 12.05.2015 р. № 166/550. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0663-15#Text>.
7. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT, ISO/IEC 17025:2017, IDT): ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. – [Чинний від 2021-01-01].
7. Про затвердження Вимог до експертних організацій, які мають намір виконувати (виконують) експертизу стану охорони праці та безпеки промислового виробництва: наказ Мінсоцполітики України від 12.04.2018 р. № 507. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0569-18>.
8. Про затвердження Правил сертифікації фахівців з неруйнівного контролю: наказ МНС України від 10.12.2012 р. № 1387. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0010-13#Text>
9. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю: ДСТУ EN ISO 9712:2022 (EN ISO 9712:2022, IDT; ISO 9712:2021, IDT). – [Чинний з 2023-06-25].

## ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ В МІКРОКОНТРОЛЕРНУ СИСТЕМУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОТЕЗАМИ ПАЛЬЦІВ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ

Впровадження штучних нейронних мереж в галузях інженерії відбувається дуже стрімко, але існують деякі обмеження для їх ефективного використання в поєднанні з мікроконтролерами. Здебільшого проблеми виникають через обмеження пам'яті та недостатні обчислювальні можливості для роботи з великими масивами даних і збереженням результатів навчання [1].

При під'єднанні стороннього пристрою зі штучною нейронною мережею до систем калібрування біонічних протезів на основі мікроконтролерів розширюється спектр можливостей і збільшується ефективність роботи. На рисунку 1 наведена схема під'єднання макета для автоматизованого калібрування протезів верхньої кінцівки шляхом аналізу міоелектричних сигналів з культі та здорової руки піддослідного. Синхронізація рухів здорової руки та культі можуть пришвидшити реабілітацію людей з біонічними протезами верхніх кінцівок [2]. Використання штучних нейронних мереж у подібних проєктах дозволяє швидше й точніше аналізувати медичні сигнали, і, як наслідок, якість реабілітації має збільшитись [3].

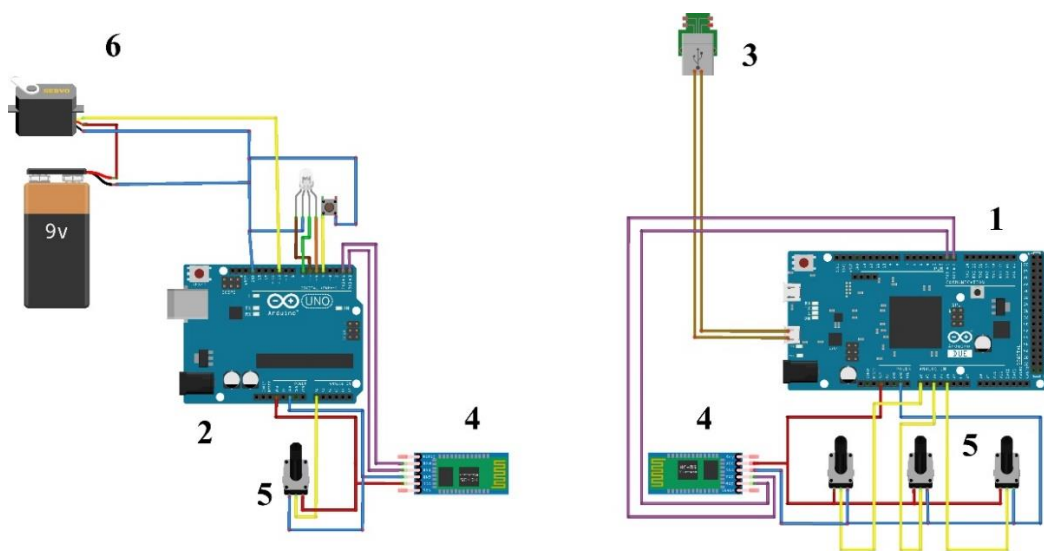


Рис. 1 – Схема під'єднання компонентів:

1, 2 – мікроконтролери типу Arduino; 3 – пристрій з нейронною мережею; 4 – Bluetooth модуль; 5 – давачі сигналів; 6 – виконавчий механізм.

### Список посилань

1. Dokic K. MicroPython or arduino C for ESP32 - efficiency for neural network edge devices [Електронний ресурс] / Kristian Dokic, Bojan Radisic, Mirko Cobovic // Intelligent computing systems. – Cham, 2020. – С. 33–43. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43364-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43364-2_4)
2. Köchli S. Coordination of bilateral synchronous and asynchronous hand movements [Електронний ресурс] / S. Köchli, T. Scharfenberger, V. Dietz // Neuroscience letters. – 2020. – Т. 720. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134757>
3. Гнетнев К. Застосування нейронної мережі для керування рухами пальців біопротезу [Електронний ресурс] / К. Гнетнев, В. Шликов // Біомедична інженерія і технологія. – 2024. – Т. 2, № 14. – С. 1–7. – Режим доступу: <http://biomedtech.kpi.ua/article/view/303995/295974>.

УДК 690. 886

Байцар Р.І., докт. техн. наук, професор  
Топчак Н.В., канд. техн. наук, асистент

Національний університет «Львівська політехніка», natali-moroz@i.ua

### ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

Аналіз вітчизняного і світового досвіду дозволив виокремити виклики, що постають перед технічними комітетами (ТК), які вдосконалюють стандарти. Оцінивши нормативну базу України на зерно пшениці встановлено, що застарілі міждержавні нормативні документи не дають змоги забезпечити процес ефективного оцінювання якості зерна. Виявлено наявність на європейському рівні конфлікту, який полягає у існуванні різниці вимог в торгівлі, а саме, це стосується допустимих норм показників якості зерна.

Сформовано процесний підхід до вдосконалення нормативного зерна пшениці та підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору на рис. 1.



Рис. 1 – Процесний підхід до вдосконалення нормативного забезпечення якості зерна пшениці

Прогнозування виробництва високоякісного зерна повинно ґрунтуватись на передбаченні досягнень нормативно-технічної документації, прогресивних методів оцінювання показників якості зерна та вдосконалення стандартів на високоякісне зерно, змін у купівельні спроможності населення, співвідношення попиту і пропозиції.

Планування якості зерна - це процес розробки і встановлення нормативного забезпечення, щодо поліпшення споживчих властивостей зерна, а також заходів, які забезпечують можливість досягнення визначеного його рівня якості. Цей процес дійсно пов'язаний з роботою науково-дослідних і проектно-конструкторських підрозділів, впровадження прогресивних технологій, нових стандартів продукції. Стимулювання поліпшення якості зерна здійснюється шляхом встановлення європейських вимог щодо високих якісних результатів роботи.

УДК 004.9

Соловей О.Л., канд .техн .наук, доцент

Київський національний університет будівництва і архітектури, soloveiolga2@gmail.com

## МЕТОД ОЦІНКИ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

Методи машинного навчання, а саме алгоритми класифікації, використовуються для автоматизації процесів технічного обстеження стану об'єктів будівництва, коли в результаті необхідно класифікувати технічний стан однією з чотирьох категорій: «1» – нормальний; «2» – задовільний; «3» – не придатний до нормальної експлуатації; «4» – аварійний [1]. При цьому здатність побудованої моделі класифікації за заданим набором параметрів визначати стан об'єкта оцінюється за таблицею невідповідностей у випадку керованого навчання, або за таблицею допасованості – для некерованого навчання [2]. Існує чотири загально прийняті оцінки на основі зазначених матриць, а саме:

- чутливість (SEN) та специфічність (SPE) – оцінюють здатність моделі вірно визначати позитивні та негативні випадки відповідно;

- прогностична значущість позитивного та негативного результатів (PPV) та (NPV) – оцінюють помилку моделі для позитивних і негативних випадків відповідно.

Значення інших методів оцінювання ефективності моделі класифікації отримується функціями:

- від двох параметрів (SEN та SPE), наприклад, збалансована точність (BA) – оцінка враховує здатність моделі вірно визначати випадки, але не враховує помилку моделі;

- від трьох параметрів (SEN, SPE та PPV), наприклад, F-міра – оцінка враховує здатність моделі вірно визначати випадки й помилку моделі для позитивних випадків, залишаючи поза увагою помилку моделі для негативних випадків;

- від чотирьох параметрів (SEN, SPE, PPV, NPV), наприклад, коефіцієнт кореляції Меттьюза (MCC) - оцінка враховує здатність моделі вірно визначати випадки й помилки моделі для позитивних та негативних випадків.

Зазначені оцінки також використовують порівнюючи моделі після внесення модифікацій в алгоритм навчання моделі, з метою аналізу та обґрунтування доцільності впровадження змін [3].

Останнім часом, зустрічаються роботи в яких доводиться, що оцінки за методами збалансованої точності або F-міри можуть не відповідати дійсній здатності моделі класифікувати випадки і рекомендується проводити оцінювання за методом Меттьюза [4–5]. Але така рекомендація не є необхідною у всіх випадків.

Розглянемо таблиці невідповідностей бінарної моделі класифікації для визначення технічного стану будівлі за категоріями: «1» – нормальний; «0» – не придатний до нормальної експлуатації. В таблиці 1 визначено:

- істинно позитивні (П) – кількість об'єктів класу «1» стан яких вірно визначено моделлю;

- істинно негативні (ІН) – кількість об'єктів класу «0» стан яких вірно визначено моделлю;

- хибно позитивні (ХП) – кількість об'єктів класу «0» стан яких не вірно визначено моделлю, як такі, що належать класу «1»;

- хибно негативні (ХН) – кількість об'єктів класу «1» стан яких не вірно визначено моделлю, як такі, що належать класу «0».

Тоді, в рядку 1 з таблиці 1 бачимо, що модель невірно класифікувала тільки один об'єкт, це значить високі оцінки (>0.9) для всіх чотирьох характеристик (див. таблицю 2). В рядку 2 з таблиці 1 видно, що модель невірно класифікувала 20 об'єктів класу «1» і 1000 об'єктів

класу «0», в наслідок чого, отримано низьку прогностичну значущість позитивного результату  $PPV=100/(100+1000)=0.09$ ; здатність моделі вірно класифікувати позитивні та негативні випадки залишалась високою й високою залишалась прогностична значущість негативного результату  $NPV=30000/(30000+20)=0.99$ . Як результат, в рядку 2 з таблиці 2 оцінка збалансована точність є високою, а ось оцінки F-міра та нормалізований коефіцієнт кореляції Меттьюза значно знизились. В рядку 3 з таблиці 1 бачимо, що модель невірно класифікувала 10000 об'єктів класу «1», які було віднесено до класу «0», в наслідок чого, отримали низьку прогностичну значущість негативного результату  $NPV=9/(9+10000)=0$ , при цьому здатність моделі вірно класифікувати позитивні та негативні випадки й прогностична значущість позитивного результату залишалась високою. В результаті оцінка збалансована точність і F-міра є високими, а ось значення нормалізованого коефіцієнту кореляції Меттьюза значно знизилось.

Таблиця 1 – Таблиця невідповідностей бінарної моделі класифікації

№	ІП	ХН	ХП	ІН
1	30	1	0	30
2	100	20	1000	30000
3	90000	10000	1	9

Таблиця 2 – Оцінки бінарної моделі класифікації

№	SEN	SPE	PPV	NPV	BA	nMCC	F-міра
1	0.97	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.98
2	0.83	0.97	0.09	0.99	0.90	0.63	0.16
3	0.90	0.90	1.00	0.00	0.90	0.51	0.95

Оскільки ефективна модель бінарної класифікації для визначення технічного стану будівлі має вірно визначати «придатність» або «непридатність» будівельного об'єкта, й мати високу прогностичну значущість позитивного результату, тобто не відносити «непридатні» об'єкти до «придатних», тоді оцінювати таку модель варто за методом F-міра.

Якщо при оцінюванні моделі бінарної класифікації для визначення технічного стану будівлі є вимога забезпечити здатність моделі вірно визначати випадки і мати високу прогностична значущість для обох класів, тоді оцінювання варто проводити за методом коефіцієнта кореляції Меттьюза.

### Список посилань

1. Терентьев, О.О., Горбатюк, Є.В. and Серпінська, О.І., Інтелектуальна інформаційна технологія системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва. VII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій». Тема: Інформаційні технології розвитку змісту освіти, pp.25-26.
2. Tharwat, A., 2020. Classification assessment methods. Applied computing and informatics, 17(1), pp.168-192.
3. Gobov D., Solovei O.: Approaches to Improving the Accuracy of Machine Learning Models in Requirements Elicitation Techniques Selection. In International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications, Mar 17 (pp. 574-584), Cham: Springer Nature Switzerland (2023).
4. Chicco, D., Jurman, G.: The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC genomics, 21(1), 1-13 (2020).
5. Chicco, D., Tötsch, N. and Jurman, G.: The Matthews correlation coefficient (MCC) is more reliable than balanced accuracy, bookmaker informedness, and markedness in two-class confusion matrix evaluation. BioData mining, 14(1),1-22, (2021).

УДК 004.421.5

Майданик О.О., аспірант  
Мелешко Є.В., докт. техн. наук, професор  
Мацуй А.М., докт. техн. наук, професор

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
maidanyksmail@gmail.com

## ТЕСТУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ БІЛЬЯРДА СИНАЯ

Генератор псевдовипадкових чисел – це програма або алгоритм, який створює послідовність чисел, які виглядають випадковими, але насправді є детермінованою послідовністю, зазвичай заснованою на початковому значенні. В даному дослідженні пропонується метод створення генератора псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) на основі більярда Синая, який використовує математичні принципи, що базуються на траєкторії руху кулі на більярдному столі для генерації випадкових чисел. Цей метод полягає в тому, щоб визначити точки перетину кулі з границями столу (поля), які використовуються для генерації випадкових чисел [1]. Поле має форму опуклих кривих (також може мати іншу форму), а точка частинки рухається по більярду з постійною швидкістю. Коли вона досягає кордону поля більярда, зазнає пружного зіткнення з дзеркальним відображенням відповідно до закону відбиття – кут падіння дорівнює куту відбиття. Між двома зіткненнями точка рухається прямолінійно. На рис. 1 зображено візуалізацію руху математичної точки при 20-ти ітераціях у запропонованій конфігурації більярда Синая.

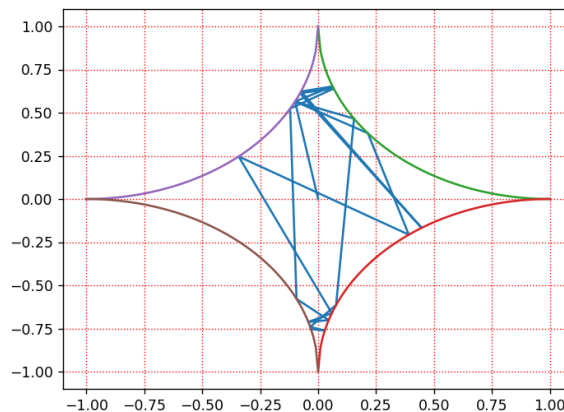


Рис.1 – Приклад візуалізації руху математичної точки в більярді Синая з полем у формі супереліпсу при 20-ти ітераціях для генерації псевдовипадкової послідовності чисел

З рис. 1 видно, що математичні частинки починають свій рух від центру поля в бік початкового кута, який задається на початку розрахунків. Псевдовипадкові числа вираховуються з координат відбиття точок від границь поля. Потім координати перетворюються в двійкове число [2], оскільки для подальшого тесту на розподіл двійкова форма числа є зручнішою.

Тестування ГПВЧ на надійність та безпечність включає перевірку рівномірності розподілу згенерованої послідовності чисел. У цій роботі рівномірність розподілу ГПВЧ перевірялася за допомогою тесту  $\chi^2$ -квдрат.

Рівномірність розподілу чисел у генераторі псевдовипадкових чисел означає, що кожне можливе число має однакову ймовірність з'явитися у випадковій послідовності. Це означає, що в межах діапазону значень генератор повинен видавати числа рівномірно, без зміщень або переваги для певних значень. Дана властивість важлива і може бути використана в багатьох випадках, зокрема для криптографії, статистики та моделювання.

Були проведені тести на розподіл для запропонованого ГПВЧ для вірно (рис. 1) та невірно заданих (рис. 2) початкових координат. Тест виконувався з деякою кількістю ітерацій чисел (кількістю згенерованих чисел) з подальшим записом у файл, з наступним проведенням підрахунку та обчисленням дельти (різниці між кількістю нулів та одиниць).

При невірно заданих параметрах розподіл має велику різницю між кількістю нулів та одиниць (дельта), що є поганим результатом. При невірно заданих початкових параметрах (початкові координати та початкові кути руху точок) дельта велике, а при хибних початкових координатах (за межами супереліпсу) точка взагалі виходить за поле. Тест генератора з хибними початковими координатами зображено на рис. 2. З рис. 2 видно, що генератор працює але некоректно – розподіл чисел нерівномірний.

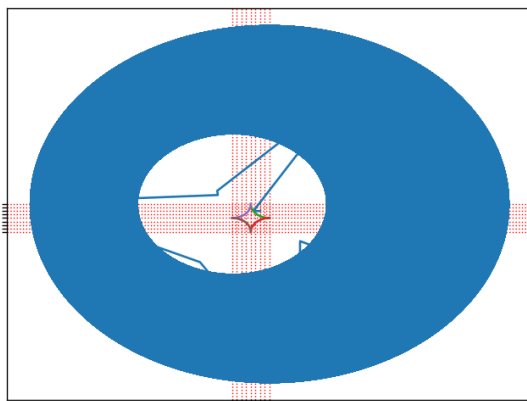


Рис. 2 – Приклад графіка з хибними початковими координатами ГПВЧ за межами поля

Тестування ГПВЧ з вірними початковими координатами та при різній кількості ітерацій показує коректну роботу – розподіл чисел рівномірний (табл.1).

Таблиця 1 – Результати тестування ГПВЧ з різною кількістю ітерацій

№	Початкові координати	Кількість ітерацій	Кількість нулів	Кількість одиниць	Дельта	$\chi^2$	Результат хі-квадрат тесту (критичне значення 3.841)
1	Вірні	100	49	51	2	0.04	Розподіл рівномірний
2	Вірні	1000	497	503	6	0.03	Розподіл рівномірний
3	Вірні	10000	4957	5043	86	0.73	Розподіл рівномірний
4	Вірні	100000	50018	49982	36	0.01	Розподіл рівномірний
5	Вірні	1000000	499916	500084	168	0.02	Розподіл рівномірний
6	Невірні	100000	53488	46512	6976	486.64	Нерівномірний розподіл

З таблиці 1 видно, що запропонований метод ГПВЧ на основі більярда Синая проходить тест на рівномірність розподілу чисел.

Застосування ГПВЧ є досить широким. Наразі стоїть гостра проблема шифрування радіозв'язку особливо для різного роду безпілотних апаратів. Незашифровані канали зв'язку досить легко перехопити, оскільки більшість протоколів передачі даних є простими та незашифрованими. ГПВЧ на основі більярда Синая пропонується використовувати для створення ключів шифрування даних керування та телеметрії, які передаються у формі дискретного сигналу.

#### Список посилань

1. Sinai Y.G. Dynamical systems with elastic reflections // Mathematical Surveys. – 1970. – vol. 25, no. 2, – pp. 137-189.
2. Собінов О.Г. Простий генератор псевдовипадкової послідовності // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Кіровоград, 4 груд. 2014 р. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 184.

УДК 681.518.5 (043.5)

Герашенко М.О., нач. науково-дослідної лабораторії  
Тарасенко Я.В., канд. техн. наук, доцент, старший науковий співробітник  
Засць І.І., науковий співробітник  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, м. Черкаси, yaroslav.tarasenko93@gmail.com

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОПАР ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРОЦЕСІ КЛІМАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Кліматичні випробування є важливим процесом визначення якості виробів до впливів зовнішніх факторів в процесі випробувань. Одним з таких факторів є температурні впливи на вироби. При випробуваннях на вплив високих температур, важливою умовою є точні вимірювання, при яких зазвичай застосовуються спеціалізовані датчики, які завдяки термоелектрорушійній силі та відповідного термоелементу [1] дозволяють отримати необхідне значення вимірювань при відповідних температурних впливах. Ефективність вимірювань при цьому залежить від сплаву, використаного в термопарі. Відповідно даних, наведених в [1], найбільш часто використовують такі сплави, як копель, алюмель, хромель, платинородій, а, отже, можна представити термопари, що найбільш часто використовуються для вимірювань в зазначених температурних діапазонах (рис. 1).

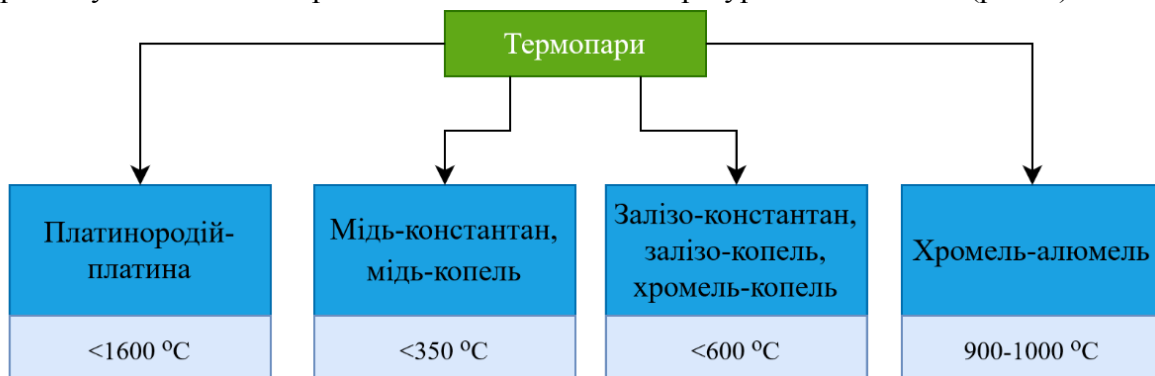


Рис. 1 – Термопари та температури вимірювань

При цьому, ефективність використання термопар залежить від низки чинників, зокрема, При чому, значення термоелектрорушійної сили не завжди відіграє вирішальну роль. Так, згідно [1], на ефективність впливають, як домішки чи окислення компонентів, так і фізичне спотворення компонентів, а найбільш точними вважаються платина-платинородієві термопари. Однак, на прикладі практичного використання термопар у випробувальному стенді [2], який, як зазначається характеризується високою точністю і надійністю, використовується термопара виду хромель-алюмель.

Таким чином, для вимірювання температури при кліматичних випробуваннях найбільш ефективними є термопари, які дозволяють з найменшими зусиллями перетворювати отримані значення вимірювань у необхідні для обробки значення, що дозволить в подальшому ефективно їх обробляти, шляхом застосування відповідного програмного забезпечення. Не менш важливою характеристикою, при цьому, є надійність та довговічність сплаву, оскільки вона впливає на точність результатів вимірювань, в залежності від терміну експлуатації термопари у температурному випробувальному стенді.

### Список посилань

1. Швець Є.Я., Червоний І.Ф., Головка Ю.В. Матеріали і компоненти електроніки. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 278 с.
2. Білий О.М., Богуш А.Р. Температурний стенд для прискорених випробувань. *Біомедична інженерія та електроніка*. 2015. № 2. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/biomedengelec\\_2015\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/biomedengelec_2015_2_3).



УДК 621.39:623.1/7

**Дранник П.А., канд. військ. наук, старш. наук. співроб.**  
Національний університет оборони України, [ravchuc@ukr.net](mailto:ravchuc@ukr.net)

**Рощупкін Є.С., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.**  
Харківський національний університет Повітряних Сил, [reszzz76@gmail.com](mailto:reszzz76@gmail.com)

**Кукобко С.В., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.**  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, [ksv2377kh@ukr.net](mailto:ksv2377kh@ukr.net)

**Герасимов С.В., докт. техн. наук, професор**  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», [sergeyg@i.ua](mailto:sergeyg@i.ua)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ**

В умовах дії особливого періоду відновлення радіотехнічних засобів (РТЗ) в особливих умовах (наприклад, в зоні ведення бойових дій) має свою специфіку. Для цього випадку воно включає до свого складу: технічну розвідку, евакуацію пошкоджених (непрацездатних) виробів (зразків), ремонт (відновлення працездатності), приведення (доведення) відремонтованих виробів (зразків) до належного стану, передавання (передачу) пошкоджених (непрацездатних) виробів (зразків) (які не відновлюються силами і засобами ремонтно-відновлювальних підрозділів) засобам ремонтно-відновлювальних органів вищого органу управління, повернення і введення до експлуатації (строю).

Універсальним показником оцінювання заходів щодо забезпечення справності (працездатності) РТЗ є коефіцієнт технічного використання (КТВ) зразку (виробу) та КТВ парку виробів [1-4]. Його збільшення може бути досягнуто шляхом скорочення часу, що витрачається на технічне обслуговування та відновлення РТЗ.

Прискорення технічної розвідки та евакуації можливе за рахунок використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що дозволить оперативно: виявити пошкоджені (непрацездатні) вироби, зробити попередні оцінки їх технічного стану та потрібних для відновлення сил та засобів, розвідати безпечні та раціональні шляхи евакуації, контролювати безпеку відповідних груп відновлювальних органів, забезпечити у разі потреби доставку потрібних матеріальних засобів до визначених місць. В залежності від способів та засобів протидії противника може бути обраний БПЛА з заданими характеристиками [5-11].

Таким чином, це дозволить зменшити терміни технічної розвідки та евакуації та здійснювати їх в більш безпечних умовах. Разом з тим, до завершення евакуації у місцях проведення відновлювальних робіт можуть бути підготовлені потрібні сили та засоби, або час їх підготовки буде суттєво скорочений.

При проведенні відновлювання черговість робіт може бути визначена за результатами як попередній оцінки остаточного ресурсу виробів [2-4], так і за результатами експрес-діагностування з використанням вимірювальних сигналів [12-14]. Це дозволить прийняти рішення про доцільність першочергового відновлення виробів з найбільшим остаточним ресурсом або виробів, що потребують найменший обсяг робіт. У той же час, у разі потреби, може бути здійснено і технічне обслуговування БПЛА [15].

В доповіді наведені пропозиції щодо порядку організації та проведення відновлення РТЗ. Як показали результати моделювання дій персоналу відновлювальних органів [16], в залежності від умов обстановки наведені пропозиції дозволяють скоротити час як технічного обслуговування, так і відновлення виробів від 5% до 40%, що в загальному випадку дозволяє збільшити як КТВ зразку, так і КТВ групи виробів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на пошук шляхів раціонального складу та розміщення груп відновлювальних органів.

#### Список посилань

1. Крючков, Д. М., Рошупкін, Є. С., Калита, О. В., & Дранник, П. А. (2023). Пропозиції щодо підвищення ефективності відновлення сукупності різнотипних радіоелектронних засобів спеціального призначення при їх використанні в різних умовах. XVII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених» (TPRYS-2023), Харків.

2. Туринский, А.В., Певцов, Г.В., Крючков, Д.Н., & Рошупкин, Е.С. (2020). Методы повышения достоверности и эффективности контроля технического состояния радиотехнических систем подвижных объектов. *Azərbaycan dövlət dəniz akademiyasının elmi əsərləri*, 1, 176–182.

3. Герасимов, С.В., Гречка, А.В., Рошупкин, Е.С., Рошупкина, А.Е., & Кукобко, С.В. (2020). Адаптивный метод технической диагностики системы разнесенных радиотехнических устройств. *Azərbaycan dövlət dəniz akademiyasının elmi əsərləri*, 2, 129–137.

4. Кукобко, С.В., Ветошкін, О.Г., Рошупкін, Є.С., & Джус, В.В. (2020). Автоматизоване технічне обслуговування рознесених електронних інформаційних систем. Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2020), Чернігів: ЧНТУ.

5. Швидкий А.В., Рошупкін Є.С., Кукобко С.В., Шулежко В.В., & Коробков Ю.В. (2022). Аналіз безпілотних літальних апаратів як цілей для зенітного ракетного комплексу С-300В1. XVI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів "Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених" (TPRYS-2022), Харків.

6. Herasimov, S.V., Kukobko, S.V., Roshchupkin, E.S., & Roshchupkina, A.E. (2020). Assessment of possibilities of detection and tracking of drones the system of radiolocation stations of antiaircraft defense. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2020)* – С.270.

7. Кукобко С.В. Оцінювання радіолокаційної помітності безпілотних літальних апаратів як цілей для засобів радіолокації протиповітряної оборони Сухопутних військ / С.В. Кукобко, Є.С. Рошупкін // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ “ХПІ”. – С. 99.*

8. Ліцман, А.М., Калугін, Д.С., Рошупкін, Є.С., Скопінцев, О.О., & Туленко, М.В. (2019). Дослідження ураження типових групових об'єктів військового призначення при веденні бойових дій (проведення операцій) в сучасних умовах. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: Проблеми та перспективи, Одеса.

9. Беляєв, Д.М., Кукобко, С.В., Ліцман, А.М., & Рошупкін, Є.С. (2019). Пропозиції щодо використання багатопозиційних систем для виявлення балістичних, аеробалістичних та аеродинамічних цілей з визначенням координат точок їх пуску. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: Проблеми та перспективи, Одеса.

10. Кукобко С.В., Місценко Р.В., Бритов Д.М., Рошупкін Є.С., & Гайбадулов Б.В. (2023). Пропозиції щодо автоматизації процесу прийняття рішення при класифікації ситуацій у повітряному просторі. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Харків.

11. Герасимов С.В. Підвищення боєготовності зенітних ракетних військ шляхом оптимальної закупівлі комплектуючих виробів зенітних ракетних комплексів / С.В. Герасимов, Д.М. Ізосімов, Є.С. Рошупкін, В.В. Старцев // *Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1(21). – С. 55-59. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2010\\_1\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2010_1_13).*

12. Герасимов С.В. Синтез вимірювальних сигналів для визначення технічного стану систем автоматичного управління / С.В. Герасимов, С.В. Кукобко, Є.С. Рошупкін, О.О. Расстригін // *Озброєння та військова техніка. – 2016. – № 4. – С. 32-36. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2016\\_4\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2016_4_7).*

13. S. Herasimov, E. Roshchupkin, V. Kutsenko, S. Riazantsev and Yu. Nastishin, Statistical analysis of harmonic signals for testing of Electronic Devices, *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, vol.8, is. 7, 2020, p.p. 3791-3798, <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/143872020>.

14. Herasimov, S., Borysenko, M., Roshchupkin, E. et al. Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter. *J Electron Test* 37, 357–368 (2021), <https://doi.org/10.1007/s10836-021-05954-0>.

15. Кукобко С.В., Рошупкін Є.С. (2022). Моделювання системи технічного обслуговування безпілотних літальних апаратів. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції, Чернівці.

16. Tymchenko, S., Kaplun, Y., Roshchupkin, E., Kukobko, S. (2023). Substantiation of Time Distribution Law for Modeling the Activity of Automated Control System Operator. In: Shkarlet, S., et al. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 667. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30251-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30251-0_9).

УДК: 004.056

**Кайдик О.Л., канд. техн. наук, доцент**  
**Терлецький Т.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Кондіус І.С., канд. екон. наук, доцент**  
**Меус О.С., магістр**

Луцький національний технічний університет, [o.kaidyk@lntu.edu.ua](mailto:o.kaidyk@lntu.edu.ua)

**Остапюк В.В., викладач**

ВСП «Технічний фаховий коледж ЛНТУ», [vostapiuk@tac.lutsk.ua](mailto:vostapiuk@tac.lutsk.ua)

## ДО ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

На сьогодні, захист конфіденційності, доступності та цілісності інформації залишається однією із найважливіших складових інформаційної безпеки (ІБ). Стан захищеності будь-якої системи дозволяє, насамперед, запобігти витоку конфіденційної інформації, кібератакам, втратам даних та іншим загрозам безпеки.

До вибору апаратних та програмних засобів захисту інформації, велику увагу приділяють систематизації стандартів ІБ. Саме ефективна систематизація стандартів є тим рушієм, який дозволяє створити чіткий та узгоджений набір ключових чинників під час забезпечення надійного захисту інформації [1].

Ще одним важливим моментом систематизації стандартів є усунення неоднозначності й розбіжності у вимогах безпеки, що сприяє єдиному їх розумінню серед зацікавлених сторін та спрощує впровадження заходів забезпечення безпеки [2].

Зауважимо, що стандарти із інформаційної безпеки є обов'язковими, в окремих випадках – рекомендовані, до виконання нормативними документами, які визначають підходи до оцінювання рівня ІБ та встановлюють вимоги до забезпечення безпеки інформаційних систем. Загалом, ці нормативні документи допомагають ефективно запобігати ризикам ІБ та виконують наступні функції:

- визначають вимоги безпеки (стандарти встановлюють базові та додаткові вимоги щодо захисту інформації, що допомагає розробляти та впроваджувати ефективні стратегії захисту);
- консистентності інформаційної безпеки (стандарти сприяють формуванню єдиного підходу до проблематики захисту інформації, що сприяє усуненню розбіжностей у вимогах);
- нормативної бази (стандарт це основа для розроблення внутрішніх політик та процедур безпеки);
- оцінки відповідності (стандарти дозволяють здійснювати оцінку відповідності систем безпеки до встановлених нормативних документів та вимог);
- міжнародної співпраці (такі стандарти можуть бути прийняті на міжнародному рівні, що сприяє співпраці між країнами у галузі кібербезпеки);
- покращення процесів безпеки (постійне покращення систем безпеки у стандартах досягаються шляхом впровадження нових технологій та практик).

З поміж основних напрямків діяльності стандартизації комплексу заходів [3], які спрямовано на забезпечення безпеки інформації в сучасних інформаційних системах, варто виокремити такі:

- аудит інформаційної безпеки;
- моделі інформаційної безпеки;
- методи та механізми інформаційної безпеки;
- криптографія;
- безпека міжмережевої взаємодії;
- керування інформаційною безпекою.

У свою чергу, комплексний підхід до забезпечення безпеки інформації базується на використанні різноманітних стратегій, методів та технологій для захисту інформації від несанкціонованого доступу, втрати, пошкодження або руйнування. Ключовими аспектами цього підходу є:

- аналіз ризиків;
- політики безпеки;
- технологічні заходи;
- навчання персоналу;
- моніторинг та аудит безпеки;
- реагування на кібератаки та інциденти безпеки;
- дотримання стандартів безпеки.

На практиці стандарти інформаційної безпеки прийнято класифікувати за різними критеріями: географічне поширення, галузь застосування, тип організації тощо. Такого роду класифікація допомагає встановити, який саме стандарт доцільно використовувати в конкретному контексті та галузі для забезпечення ефективного управління інформаційною безпекою.

Забезпечення взаємодії між правовими актами, нормативними документами та національними стандартами є важливим етапом у покращенні системи захисту інформації та кібербезпеки в цілому.

Як бачимо, застосування стандартів в управлінні інформаційною безпекою є ключовим елементом, оскільки дозволяє покращити її захист. Зокрема:

- стандарти ISO/IEC 27001 та 27002 визначають вимоги до систем управління інформаційною безпекою та надають рекомендації щодо забезпечення безпеки інформації;
- стандарт PCI DSS встановлює вимоги до захисту платіжних карток та персональних даних, які обробляються платіжними системами;
- стандарт NIST CSF містить набір рекомендацій щодо зниження організаційних ризиків кібербезпеки на основі чинних стандартів, посібників та практик;
- стандарт GDPR встановлює, в межах чинного законодавства, правила щодо обробки та захисту особистих даних громадян ЄС;
- стандарт HIPAA містить правила, які контролюють використання, передачу та розкриття медичної інформації про пацієнта постачальниками медичних послуг, страховими компаніями.

Універсальність та загальноприйнятність стандартів дозволяє зацікавленим сторонам напряду використовувати спільні методики та підходи до управління інформаційною безпекою.

В сучасних умовах, необхідність наслідування інших стандартів з інформаційної безпеки повинна бути закріпленою законодавчо. Однак, добровільне впровадження таких стандартів є ефективним та корисним, оскільки у них описані найбільш якісні та перевірені методики й вирішення.

Як бачимо, в умовах сьогодення, питання захисту інформації набуває принципового значення, а спектр питань, які приходиться вирішувати під час усунення потенційних загроз

включає у себе насамперед методологічні, технологічні та технічні аспекти. Зауважимо, що проблеми захисту інформації поступово виходять за межі компетенції фахівців IT-галузі.

Варто відзначити, що сучасне нормативно-правове регулювання в галузі захисту інформації може бути досить широким і різноманітним, що за часту створює низку проблем. При цьому, національний стандарт, як методичний документ, відіграє неабияку роль у цьому контексті.

#### Список посилань

1. Andre Saecel. Standards for Information Security – an Overview. URL: <https://www.dqsglobal.com/intl/learn/blog/standards-for-information-security-an-overview> (дата звернення: 03.05.2024).
2. Дикий О. В., Флюнт М. О. Стандарти інформаційної безпеки: компаративне дослідження. URL: [http://pdu-journal.kpu.zp.ua/archive/2\\_2019/tom\\_1/16.pdf](http://pdu-journal.kpu.zp.ua/archive/2_2019/tom_1/16.pdf) (дата звернення: 04.05.2024).
3. Архипов О. Є., Теплицька Т. П. Еволюція методології захисту інформації на прикладі аналізу стандартів безпеки. URL: <http://surl.li/toyqk> (дата звернення: 02.05.2024).

УДК 004

Кравченко А.О., студент

Степенко С. А., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», 001lolololka@gmail.com

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ, ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

Штучний інтелект (ШІ) має потенціал значно підвищити точність, ефективність та надійність інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Ця робота досліджує сучасні методи впровадження ШІ в ІВС, аналізуючи їхні переваги, виклики та приклади успішного застосування в різних галузях.

### 1. Оптимізація вимірювальних процесів:

*Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування та калібрування вимірювань.* Алгоритми машинного навчання значно покращують прогнозування та калібрування вимірювань. Вони аналізують історичні дані, виявляють закономірності та використовують їх для точнішого налаштування вимірювальних приладів. Це забезпечує більш високу точність та стабільність вимірювань[1].

*Підвищення точності вимірювань за рахунок самонавчальних моделей, які адаптуються до змін середовища.* Самонавчальні моделі, які адаптуються до змін середовища, дозволяють системам самостійно налаштовувати свої параметри у відповідь на змінні умови. Це підвищує точність вимірювань і робить систему більш гнучкою та надійною у різних умовах експлуатації[2].

### 2. Аналіз великих даних:

*Інтеграція ШІ для обробки та аналізу великих обсягів даних, отриманих від ІВС.* Штучний інтелект є незамінним інструментом для обробки та аналізу великих обсягів даних, що генеруються інформаційно-вимірювальними системами. Інтеграція ШІ дозволяє швидко і ефективно аналізувати ці дані, виявляти приховані закономірності та робити обґрунтовані висновки[3].

*Використання нейронних мереж для виявлення аномалій та прогнозування збоїв.* Нейронні мережі здатні виявляти аномалії в даних і прогнозувати можливі збої. Вони навчаються на великих обсягах даних і можуть розпізнавати складні патерни, що дозволяє завчасно виявляти потенційні проблеми та запобігати збоєм у роботі систем[4].

### 3. Розумні сенсори:

Розробка розумних сенсорів, які використовують ШІ для автономного прийняття рішень та самокорекції. Розумні сенсори, оснащені ШІ, здатні автономно приймати рішення та здійснювати самокорекцію. Це дозволяє сенсорам адаптуватися до змінних умов середовища та підтримувати високу точність і надійність вимірювань без участі людини[5].

Приклади застосування розумних сенсорів у медичних та промислових ІВС. У медичних інформаційно-вимірювальних системах розумні сенсори використовуються для моніторингу стану пацієнтів, забезпечуючи точні та надійні вимірювання життєвих показників. У промислових системах вони контролюють параметри виробничих процесів, підвищуючи їх ефективність та якість продукції[6].

#### **4. Автоматизація управління системами:**

Використання ШІ для автоматизації процесів управління та моніторингу в режимі реального часу. Штучний інтелект дозволяє автоматизувати процеси управління та моніторингу в режимі реального часу. Це дає можливість швидко реагувати на зміни в системі, оптимізувати роботу та зменшити людський фактор, що підвищує загальну ефективність[7].

Інтеграція ІВС з іншими системами управління для підвищення ефективності. Інтеграція інформаційно-вимірювальних систем з іншими системами управління дозволяє створювати більш ефективні та скоординовані рішення. Це забезпечує взаємодію різних підсистем, покращує обмін інформацією та сприяє оптимізації всього процесу управління[8].

#### **5. Приклади успішного впровадження:**

Кейс-стаді застосування ШІ в ІВС на промислових підприємствах та в енергетичному секторі. Приклади успішного впровадження штучного інтелекту в інформаційно-вимірювальні системи включають проекти на промислових підприємствах та в енергетичному секторі, де ШІ допомагає оптимізувати виробничі процеси, зменшити витрати та підвищити продуктивність[9].

Огляд сучасних розробок та рішень на ринку. На ринку представлені численні сучасні розробки та рішення, що демонструють переваги впровадження штучного інтелекту в інформаційно-вимірювальні системи. Вони включають нові алгоритми, розумні сенсори та інтеграційні платформи, які вже довели свою ефективність на практиці[10].

#### **Список посилань**

1. [https://www.researchgate.net/publication/343359526\\_Machine\\_Learning\\_for\\_a\\_Power\\_Consumption\\_and\\_Generation\\_Prediction/fulltext/5f3ed392299bf13404d6d26c/Machine-Learning-for-a-Power-Consumption-and-Generation-Prediction.pdf](https://www.researchgate.net/publication/343359526_Machine_Learning_for_a_Power_Consumption_and_Generation_Prediction/fulltext/5f3ed392299bf13404d6d26c/Machine-Learning-for-a-Power-Consumption-and-Generation-Prediction.pdf)
2. [Машинне навчання: основні поняття та алгоритми в Data Science \(optima.study\)](#)
3. [Штучний Інтелект у сфері аналізу даних – Datalabs \(datalabsua.com\)](#)
4. [Microsoft Word - 9maket\\_NV\\_28\\_5.doc \(nltu.edu.ua\)](#)
5. [content \(ukma.edu.ua\)](#)
6. [Розвиток штучного інтелекту в сучасній медицині | Український Медичний Часопис | Український Медичний Часопис | Український Медичний Часопис \(umj.com.ua\)](#)
7. [Застосування ШІ у масштабах великого бізнесу | Блог YC.Market \(youcontrol.market\)](#)
8. [135336.pdf \(vntu.edu.ua\)](#)
9. [Кейс-стаді — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](#)
10. [Machuga-R.I.-Boruh-O.S..pdf \(chmnu.edu.ua\)](#)

УДК 623.1/7:355.5

Скопінцев О.О.  
Овчаренко О.Ю.  
Ткачук О.А.  
Мелешенко О.В.  
Оборонов М.І.

Харківський національний університет Повітряних Сил, soazsu1973@gmail.com

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДО ДІЙ В ОСОБЛИВИХ УМОВАХ

Аналіз досвіду протистояння збройної агресії російської федерації проти України виявив суттєву потребу в удосконаленні підготовки фахівців до експлуатації та ремонту радіотехнічних систем в складних умовах [1-14]. Суттєвою особливістю наведеного питання є те, що останнім часом до експлуатації та ремонту потрапляють зразки радіотехнічних систем, які суттєво відрізняються від тих, що експлуатуються силами оборони.

Одним з шляхів прискорення навчання персоналу, надання первинних відомостей з питань побудови, експлуатації та ремонту нових зразків є використання технічних засобів, що імітують відповідні об'єкти та їх складові [7-12]. До наведених засобів в першу чергу слід віднести тренажно-імітаційні комплекси та ваго-габаритні макети.

За досвідом підготовки встановлено, що до відпрацювання питань застосування за призначенням найбільш доцільно застосовувати тренажно-імітаційні комплекси [10-12], особливістю яких повинно бути відкрита архітектура з метою можливості внесення у випадку потреби необхідних змін у код програм, що описують процес експлуатації виробу.

Разом з тим встановлено, що відпрацювання виключно на тренажно-імітаційних комплексах питань технічної експлуатації та ремонту не дають можливості в реальних умовах обстановки виконувати потрібні завдання за встановлений термін.

Безпосередньо для відпрацювання цих питань при проведенні практичних занять за досвідом підготовки особового складу була визначена доцільність використання ваго-габаритних макетів комплектуючих виробів та блоків радіотехнічних засобів [5-9], що дозволяє відпрацювати питання доставки від місця зберігання безпосередньо до радіотехнічного зразка потрібних засобів, практичної імітації їх заміни при проведенні операцій технічної експлуатації та ремонту.

Встановлено, що при імітації дій в особливих умовах, коли потрібні питання як технічної експлуатації і ремонту, так і надання домедичної допомоги, обов'язково відпрацьовуються в індивідуальних засобах балістичного захисту (бронежилет, шолом тощо) до набуття потрібних навичок та адаптації до навантаження виникає великий ризик пошкодження штатних засобів [13-14]. Застосування макетів дозволяє відпрацювати потрібні питання без додаткових витрат та досягнути потрібного результату.

В доповіді наведені данні щодо практичного застосування отриманих результатів.

### Список посилань

1. Brytov, O., Belyaev, D., Rasstryhin, O., Shknai, O., Zvieriev, O., Basarab, V., Chmil, Y., Khyzhniak, A., Kriuchkov, D., Reznichenko, O., Semeniuk, A., & Skopintsev, O. (2021). Analysis of modern methods and means of electronic intelligence for special purposes for monitoring threatening stationary and mobile objects. *InterConf*, (81), 249-264.
2. Herasimov, S.V., Kukobko, S.V., Roshchupkin, E.S., & Roshchupkina, A.E. (2020). Assessment of possibilities of detection and tracking of drones the system of radiolocation stations of anti-aircraft defense. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2020)* – С. 270.
3. Кукобко С.В. Оцінювання радіолокаційної помітності безпілотних літальних апаратів як цілей для засобів радіолокації протиповітряної оборони Сухопутних військ / С.В. Кукобко, Є.С. Рошчупкін

// Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ “ХПІ”. – С. 99.

4. Кукобко С.В., Місценко Р.В., Бритов Д.М., Рошупкін Є.С., & Гайбадулов Б.В. (2023). Пропозиції щодо автоматизації процесу прийняття рішення при класифікації ситуацій у повітряному просторі. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Харків.

5. Рошупкін, Є.С., Гречка, О.В., Галицький, О.Ф., & Гайбадулов, Б.В. (2023). Аналіз факторів, що впливають на ефективність відновлення різнотипних радіотехнічних засобів складної системи під час виконання завдань за призначенням в екстремальних умовах. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції. Том 1: секції 1, 3, 4, Баку-Харків-Жиліна.

6. Крючков, Д. М., Рошупкін, Є. С., Калита, О. В., & Дранник, П. А. (2023). Пропозиції щодо підвищення ефективності відновлення сукупності різнотипних радіоелектронних засобів спеціального призначення при їх використанні в різних умовах. XVII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених» (TPRYS-2023), Харків.

7. Джус В, Шулежко В, Рошупкін Є, Гречка О, & Сургай М. (2020). Особливості організації та проведення практик курсантів факультету зенітних ракетних військ, що навчаються за спеціалізацією зенітні ракетні комплекси та системи середньої дальності, на державних підприємствах. Освітній процес: методика, досвід, проблеми, 3-4 (157-158), 70–74.

8. Резніченко, О., Шулежко, В., Удовенко, А., Рошупкін, Є., Крючков, Д., & Титаренко, Р. (2021). Досвід активізації та мотивації навчально-пізнавальної діяльності курсантів при підготовці фахівців за спеціалізацією «зенітні ракетні комплекси та системи середньої дальності» (за напрямком с-300в1) в умовах карантинних обмежень. *Освітній процес: методика, досвід, проблеми*, 3-4 (161-162), 61–69.

9. Ткачук, О.А., Рошупкін, Є.С., Помогаєв, І.В., Калита, О.В., & Крючков, Д.М. (2022). Особливості фізичної підготовки військовослужбовців частин (підрозділів) зенітних ракетних військ у процесі відпрацювання питань відновлення озброєння та військової техніки на тактичних (тактико-спеціальних) заняттях. VI Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні тенденції та перспективи розвитку фізичної підготовки та спорту Збройних Сил України, правоохоронних органів, рятувальних та інших спеціальних служб на шляху євроатлантичної інтеграції України", Київ.

10. Гайбадулов, Б.В., Джус, В.В., Коробков, Ю.В., Крючков, Д.М., & Рошупкін, Є.С. (2019). Тренажні імітаційні комплекси зенітного ракетного озброєння – досвід використання, проблемні питання та пропозиції щодо їх розв'язання. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: Проблеми та перспективи, Одеса.

11. Djus, V., Reznichenko, A., Chmil, Y., Skopintsev, O., & Zaberezhniy, D. (2021). Software model of the workplace of the operator of radar means of the anti-aircraft missile complex of average range at work on the single purpose. Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces, Kharkiv.

12. Крючков Д.М. Удосконалення підготовки персоналу для обслуговування радіотехнічних засобів контролю повітряного простору шляхом урахування питань технічної експлуатації в тренажних імітаційних комплексах / Д.М. Крючков, Є.С. Рошупкін, В.В. Джус, Р.В. Титаренко // Сучасні інформаційні системи. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 89-93.

13. Васильєва, Н.М., Ткачук, О.А., Мелешенко, О.В., Романюк, М.М., & Шарапа, І.А. (2022). Урахування досвіду тактичних (тактико-спеціальних) навчань військових частин (підрозділів) зенітних ракетних військ з питань тактичної медицини при організації та проведенні занять з спеціальної фізичної підготовки. XVI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів "Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених" (TPRYS-2022), Харків. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7455049>

14. Васильєва Н.М., Ткачук О.А., Мелешенко О.В, Шевченко О.С., & Овчаренко О.Ю. (2022). Особливості підготовки військовослужбовців до виконання завдань за призначенням в засобах індивідуального захисту. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку", Харків



УДК 621.81:005

Копей В.Б., докт. техн. наук, професор  
Пронюк І.В., аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, vkorey@gmail.com

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ PYTHON ТА JUPYTER ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ З'ЄДНАНЬ

Методики системного аналізу застосовуються для розв'язування складних задач, що слабо формалізуються. Нерідко такими задачами є науково-технічні задачі, і зокрема, задачі проектування та інформаційної підтримки життєвого циклу таких виробів машинобудування, як металополімерні з'єднання. Як правило ці методики передбачають послідовне застосування різнотипних методів, які доповнюють одне одного. Системний аналіз (СА) опирається на теорію систем та її найважливіший принцип ізоморфізму, який вказує на подібність закономірностей розвитку і функціонування у різних за своєю природою системах. Приклади таких закономірностей: емерджентність, інтегративність, «необхідна різноманітність», історичність, самоорганізація. Ефективні системи, що реалізують методики системного аналізу, повинні володіти цими закономірностями. Це основне правило розроблення таких систем.

Сучасні інформаційні технології дозволяють ефективно реалізувати методики СА. Зокрема мова програмування Python ідеально підходить для таких завдань завдяки її простоті, гнучкості та наявності величезної кількості різноманітних пакетів, серед яких пакети для чисельних методів (NumPy, SciPy), символічної математики (SymPy), машинного навчання (Scikit-learn), візуалізації даних (Matplotlib) та інтерактивних обчислень (Jupyter).

Авторами розроблено інтерактивний документ SA\_method\_1.ipynb [1] для Jupyter-lite, який об'єднує різні методи СА (рис. 1а) для реалізації ефективної методики СА, побудованої з використанням вказаного правила та рекомендацій [2]. Це ментальні карти (mind map) для ефективного мозкового штурму, морфологічний аналіз, експертне оцінювання, візуалізація графів експертного оцінювання, алгоритми на графах, кластерний аналіз, модель класифікації машинного навчання, методи теорії надійності. Користувач може доповнити ці методи іншими, які реалізовані в різноманітних пакетах Python. Зокрема це методи аналітичного та чисельного моделювання, розв'язування рівнянь та оптимізації, статистичного моделювання, комбінаторні алгоритми, логічне програмування та інші.

Методи СА поділяють на дві групи: методи активізації інтуїції спеціалістів (МАІС) та методи формалізованого подання системи (МФПС). Методи повинні застосовуватись в раціональній послідовності. Зокрема методи МАІС повинні чергуватись з методами МФПС. Застосування цих методів являє собою ітераційний процес з можливим поверненням на попередні етапи, зміною методів та їхньої послідовності. З кожною ітерацією відбувається покращення якості моделі прийняття рішення.

Спочатку модель прийняття проектного рішення не сформована. Але після застосування різних методів вона поступово еволюціонує. Користувач може міняти методи та їхню послідовність. На першому етапі можна застосувати метод ментальних карт і мозкового штурму (рис. 1б). Для візуалізації ментальної карти використовується онлайн-сервіс [mermaid.in](https://mermaid.in). Діаграми типу mindmap описуються шляхом ієрархічного списку концептів, який утворюється за допомогою відступів. Під час мозкового штурму вводьте концепції в цей перелік і запускайте код комірки для візуалізації.

Наступним можна вибрати метод морфологічного аналізу, так як його слід відносити до іншого класу (МФПС). Для автоматизації передачі результатів від попереднього методу створено функції `parse_hierarchy` (повертає ієрархію у вигляді списку) та `parse_simple` (повертає список усіх концептів без ієрархії). Для прикладу застосуємо `parse_simple` та отримаємо множину усіх концептів. Передаємо її Python-функції `itertools.combinations` для

отримання усіх комбінації з двох елементів - морфологічної матриці. Перегляд цієї матриці дозволить звернути увагу на перспективні комбінації.

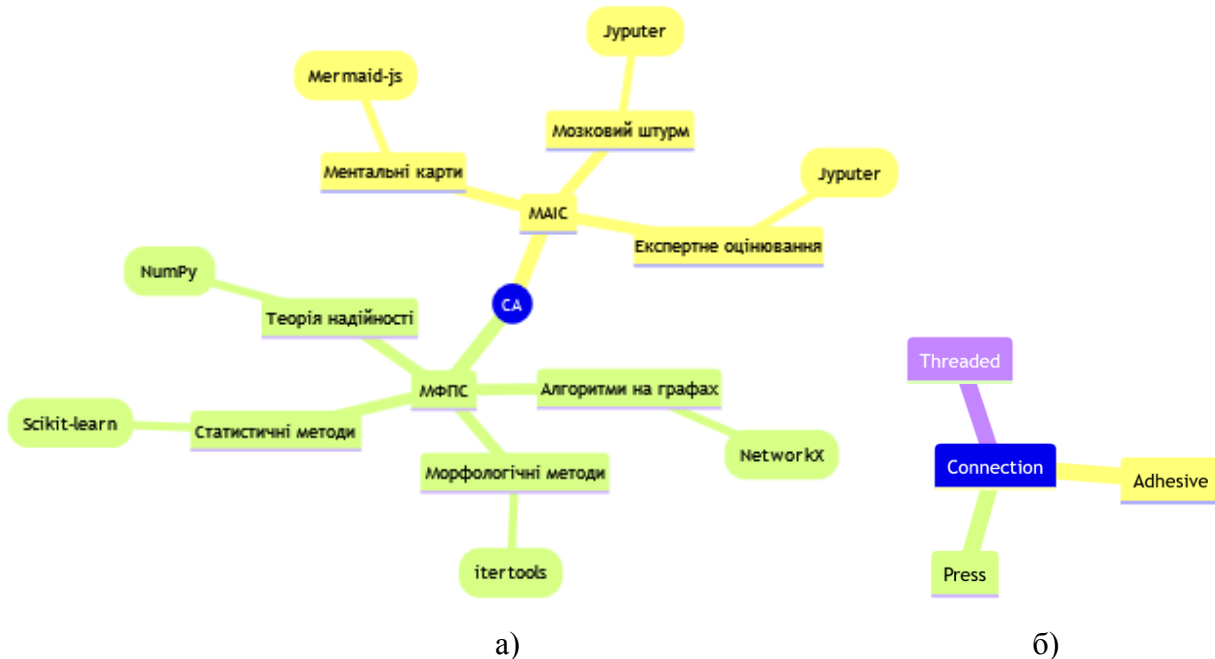


Рис. 1 – Граф застосованих методів СА а) та граф ментальної карти б)

Експертне оцінювання належить до МАІС та полягає в передачі цієї матриці експертам з проханням оцінити кожну комбінацію за шкалою від 0 до 1. Один експерт може також поставити кілька оцінок за різними критеріями. В результаті отримуємо словник  $G$ . Функція `graph2mermaid` будує граф за цією структурою  $G$ .

Для аналізу графів застосуємо алгоритми на графах (МФПС) та пакет `NetworkX`. Зокрема алгоритм для спрямованих графів `PageRank` дозволяє ідентифікувати найбільш авторитетні вузли.

Кластеризація (МФПС), реалізована за допомогою `scikit-learn`, дозволяє автоматично знайти групи (кластери) експертних оцінок. Графік показує дві групи оцінок - низькі і високі. Далі слід зосередитись на комбінаціях в групі високих оцінок.

Класифікація експертних оцінок (МФПС), реалізована за допомогою `scikit-learn`, дозволить прогнозувати клас  $y$  оцінок за ознаками  $x$ . Ознаками  $x$  можуть бути концепти `Adhesive`, `Press`, `Threaded`, їхні комбінації, оцінки за іншими критеріями та інше. У ще одному запропонованому способі класифікації є три ознаки  $x$  - кількість концептів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  в прийнятому рішенні. Клас  $y$  - це показник якості.  $x$  та  $y$  визначаються шляхом експертного оцінювання або іншим способом (моделювання, експеримент, моніторинг і т.п.).

Далі можна застосувати випробування двох варіантів виробів по  $N$  штук з обчисленням імовірності безвідмовної роботи виробу і середнього наробітку між відмовами  $T_0$ . Користувач вибирає варіант з вищим  $T_0$ .

Описаний процес може повторюватися, поки не буде знайдено оптимальне рішення. Розроблений документ автори планують використовувати для розв'язування складних задач проектування металополімерних та різьбових з'єднань.

#### Список посилань

1. Kopei V. Components of the expert system of threaded connections. URL: <https://github.com/vkopey/ThreadES> (accessed 20.05.2024)
2. Копей В.Б. Абстрактна модель інформаційної системи підтримки життєвого циклу виробу // Прикарпатський вісник НТШ. Число. №2(38). 2017. С.71-96.

УДК 621.311.24:004.4

Твердовський І.О., аспірант  
 Степенко С.А., канд. техн. наук, доцент, пров. наук. співробітник  
 Національний університет «Чернігівська політехніка», serhii.stepenko@stu.cn.ua

### ОГЛЯД АРХІТЕКТУР СИСТЕМИ ЗБОРУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ З СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В рамках проекту “Забезпечення максимальної ефективності автономних електроенергетичних систем на основі фотоелектричних перетворювачів для спеціальних застосувань” розглядається створення системи збору та зберігання даних для аналізу ефективності. На основі отриманих даних зразки будуть порівнюватися за характеристиками напруги та струму на вході і виході інвертора, включаючи показники якості – коефіцієнт гармонічних спотворень (total harmonic distortion – THD) та коефіцієнт корисної дії. Також важливими параметрами є температура навколишнього середовища, температура всередині корпусу перетворювача та інші. В результаті аналізу порівняльних характеристик будуть зроблені висновки щодо оцінки ефективності кожного зразка.

Для виключення помилок, дані експерименту мають збиратися неперервно упродовж тривалого часу (наприклад, 1 рік), для того щоб отримати результати за різних погодних умов і таким чином зробити більш повні висновки, та визначити не тільки найефективнішу установку, але й оцінити стабільність показників. Такий дослід дозволить зрозуміти слабкі сторони рішення для подальшого вдосконалення. Так як зразки мають тестуватися протягом значного періоду часу, це унеможливує ручний збір даних без погіршення точності результатів експерименту, тому показники повинні передаватися мережею інтернет на сервер в автоматичному режимі. Дані планується передавати по каналу LTE або EDGE, особливо актуально для енергостанцій розташованих у польових умовах. Схематично проект можна розбити на наступні компоненти (рис. 1).

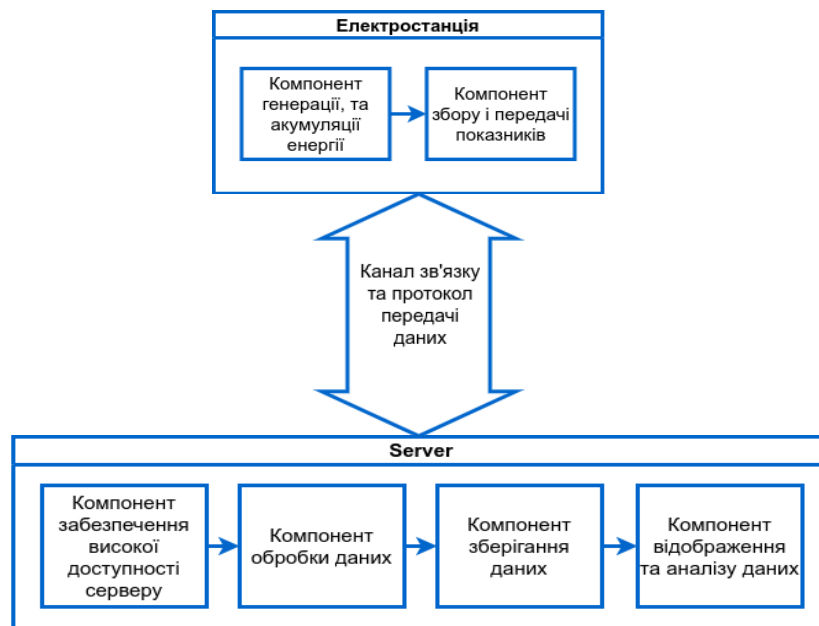


Рис. 1 – Схематичне зображення компонентів системи за взаємозв'язків між ними

В якості бази даних розглядалося декілька варіантів які можуть задовольнити потреби проекту, зокрема: InfluxDB, MongoDB, CouchDB, Cassandra. Так як система передбачає велику кількість записів і відносно малу кількість читання з БД, то пріоритетною характеристикою з вибору БД є кількість операцій запису в секунду. З огляду на те, що

проект потребує неперервного збору даних, підтримка кластеризації та можливість запису даних на будь-який вузол кластеру також розглядається як важливий критерій вибору.

Згідно з дослідженнями [1], у порівнянні з MongoDB, InfluxDB бере гору по кількості записів за секунду у 1.9 разів, об'єму зберігаємих даних на диску у 7.3 рази, та швидкості виконання запитів у 5 разів, завдяки продуманим алгоритмам по стисненню даних. Але InfluxDB у своїй безкоштовній версії не підтримує горизонтального масштабування, не дає змоги продовжувати функціонування системи у разі виходу з ладу серверу з БД, тому InfluxDB в подальшому не розглядається.

Аналізуючи роботу [2], яка порівнює CouchDB та MongoDB, CouchDB у більшості тестів на запис мала гірший час виконання, використовуючи 100 000 і 1 000 000 записів порівняно з MongoDB. З недоліків MongoDB кластер підтримує запис лише на один з вузлів кластеру і у разі виходу з ладу головного вузла, потребує час, на вибори нового головного вузла, що зпринчиняє втрату даних.

Згідно з дослідженням [3], Cassandra показує значно кращу продуктивність у сценаріях де переважає запис даних (write-heavy) порівняно з MongoDB. Згідно з тестами, Cassandra здатна обробляти до 1.75 разів більше операцій запису на секунду, ніж MongoDB. У тестах з 90% операцій запису Cassandra досягла throughput у 20,647 операцій на секунду, тоді як MongoDB – 11,673 операцій на секунду. Cassandra має нижчу затримку при записі у write-heavy навантаженнях. Наприклад, у сценарії з 90% записів затримка запису для Cassandra становила 11.6 мс, тоді як для MongoDB – 26.3 мс.

Отже, для задач з інтенсивними операціями запису, таких як наш проект, згідно з проаналізованим матеріалом, Apache Cassandra є більш підходящою базою даних завдяки кращій продуктивності запису, нижчій затримці при записі, масштабованості та стійкості до відмов. Але CouchDB також не можна відкидати, оскільки остаточні висновки можна буде зробити лише після тестів на змодельованих даних саме для нашого проекту, оскільки доступні тести інших науковців розглядали розмір даних для одного запису від 10КБ, хоча записи у нашому проекті будуть значно менше 1КБ.

Додатково були розглянуті рекомендації по оптимізації Cassandra від DataStax [4], що дозволяють вибрати оптимальну модель даних для зберігання часових метрик. Відображення та аналіз даних передбачається реалізувати на основі програмного рішення Grafana. Приклад графічного відображення даних у Grafana (рис. 2). Grafana дозволяє порівнювати показники декількох станцій на одному графіку і таким чином аналізувати ефективність рішень і технологій застосованих на тих чи інших електростанціях.

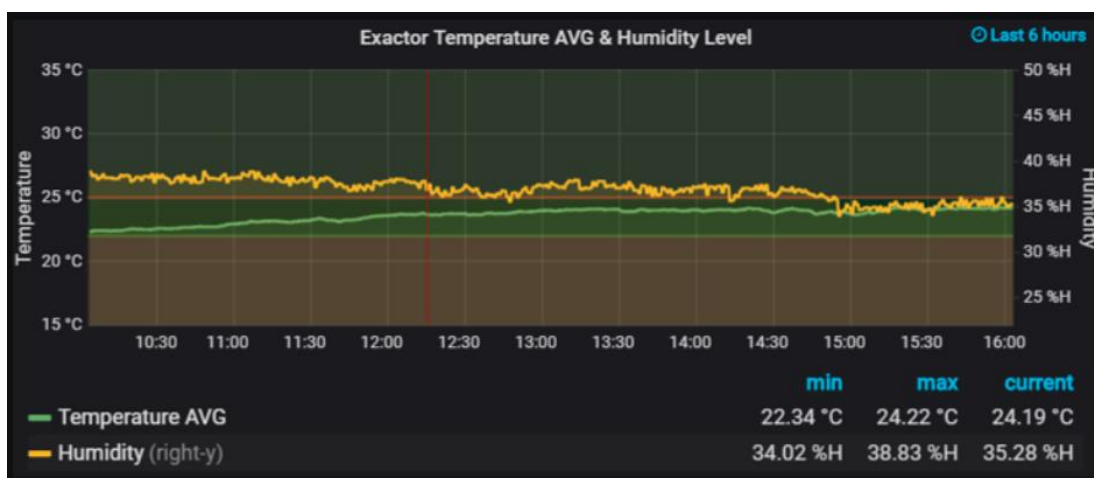


Рис. 2 – Приклад графіку температури і вологості, виведений на панель у Grafana.

#### Список посилань

1. Chris Churilo, InfluxDB is 5x Faster vs. MongoDB for Time Series Workloads 2022, InfluxData blog <https://www.influxdata.com/blog/influxdb-is-27x-faster-vs-mongodb-for-time-series-workloads/>

2. Inês Carvalho; Filipe Sá; Jorge Bernardino Performance Evaluation of NoSQL Document Databases: Couchbase, CouchDB, and MongoDB 2023. P. 11. <https://doi.org/10.3390/a16020078>

3. Daniel Seybold; Jörg Domaschka, The Data-Based MongoDB vs. Cassandra Study 2022 <https://benchant.com/blog/mongodb-vs-cassandra>

4. DataStax white paper pp. 3-5, [https://docs.datastax.com/en/tutorials/Time\\_Series.pdf](https://docs.datastax.com/en/tutorials/Time_Series.pdf)

УДК 004.04

**Гончаренко М.В., студент**  
**Міхайлуца О.М., канд. техн. наук, доцент**  
Запорізький національний університет, [elenamikhaylutsa7@gmail.com](mailto:elenamikhaylutsa7@gmail.com)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПАТЕРНІВ ПРОЕКТУВАННЯ В СИСТЕМАХ СКЛАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Автомобільна промисловість є однією з найважливіших та найрозвиненіших галузей промисловості у світі. Україна також відома своїми автомобільними заводами, які випускають широкий спектр транспортних засобів, включаючи легкові автомобілі, вантажівки, автобуси та спеціальну техніку.

Програмні комплекси для складання транспортних засобів відіграють важливу роль в оптимізації виробничих та сервісних процесів в автомобільній промисловості. Їх використання сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат та покращенню якості обслуговування. В контексті розробки програмного забезпечення для обслуговування автомобільної промисловості програмні патерни відіграють ключову роль у поліпшенні ефективності, гнучкості та надійності програмних систем, які використовуються для збирання транспортних засобів. Патерни проектування – це рішення типових проблем при розробці програмного забезпечення. Їх використання допомагає уникнути проблем з прив'язкою, сприяє поліпшенню читабельності та підтримуванні коду, забезпечує гнучкість та розширюваність системи, а також дозволяє створювати більш якісне та ефективне програмне забезпечення. Ось деякі з них:

«Абстрактна фабрика» (Abstract Factory): дозволяє створювати сімейства пов'язаних об'єктів без прив'язки до конкретних класів цих об'єктів. Цей патерн може використовуватися для створення різних компонентів автомобілів в залежності від їх характеристик та вимог клієнтів. Наприклад, фабрика може створювати об'єкти різних типів кузовів, коліс та двигунів, відповідно до обраних специфікацій. Це дозволяє забезпечити гнучкість та розширюваність системи, а також полегшує обслуговування та модифікацію коду.

«Проксі» (Proxy): дозволяє створювати об'єкт-замісник для іншого об'єкта, що контролює доступ до нього та надає додаткову функціональність без прямого доступу до основного об'єкта. Проксі може контролювати доступ до складних або ресурсоемних операцій, наприклад, створення або використання комплектуючих деталей. Це дозволяє уникнути неправомірного доступу до цих операцій і забезпечити безпеку системи. Також проксі може виконувати операції, такі як лінійне завантаження, що дозволяє витратити ресурси лише тоді, коли вони дійсно потрібні, що зменшує використання пам'яті та обчислювальних ресурсів.

«Міст» (Bridge): дозволяє розділити абстракцію від її реалізації так, щоб їх можна було змінювати незалежно одне від одного. Шаблон «Міст» дозволяє розширювати функціонал окремих компонентів (наприклад коліс, двигунів). Це дозволяє додавати нові опції та модифікувати існуючі без впливу на основний код, а також полегшує розширення системи, забезпечуючи її гнучкість та облегшуючи обслуговування та модифікацію.

«Спостерігач» (Observer): це поведінковий патерн проектування, який визначає залежність одного або більше об'єктів від стану іншого об'єкта та автоматично сповіщає про будь-які зміни у цьому стані. Спостерігач може вирішити наступні проблеми:

1. Сповіднення про стан компонентів: Коли стан якогось компонента змінюється (наприклад, підвіску встановлено на автомобіль), всі інші компоненти, які спостерігають за цими змінами, автоматично отримують сповіщення і можуть відреагувати на це. У разі, якщо підвіску встановлено, це може вплинути на процес встановлення інших компонентів, таких як гальма або колеса.
2. Підтримка консистентності даних: Якщо в одному місці змінюється стан деякого елемента, всі інші елементи, які залежать від цього стану, можуть автоматично оновити свій стан, щоб забезпечити консистентність даних. Наприклад, якщо змінюється тип двигуна, інші компоненти, що залежать від типу двигуна, можуть автоматично оновити свій стан або параметри відповідно.
3. Зменшення зв'язності: Завдяки шаблону Спостерігач, компоненти можуть бути розроблені незалежно один від одного, оскільки вони комунікують через спостерігачів. Це дозволяє зменшити зв'язність між компонентами і полегшити модифікацію та розширення системи збирання транспортних засобів.

«Компоновник» (Composite): дозволяє об'єднувати об'єкти в деревоподібній структурі для утворення ієрархічних композицій. Його використання може вирішити такі проблеми:

1. Управління компонентами системи: можемо представити кожен компонент (наприклад, деталь або групу деталей) як частину ієрархічної структури. Це дозволяє нам працювати з системою як зі структурою в цілому, так і з окремими елементами, що утворюють цю структуру.
2. Спрощення роботи зі складними структурами: можемо працювати зі складними ієрархічними структурами, такими як структура автомобіля, яка складається з різних підсистем, кожна з яких може містити додаткові компоненти.

В представленому прикладі двигун може бути поданий як лист (лист дерева компонентів) і містити підкомпоненти, такі як циліндри, поршні, клапани. Колесо також може бути композитом, що містить компоненти, такі як диск і покришка.

«Ітератор»(Iterator): це поведінковий патерн проектування, який дозволяє послідовно перебирати елементи складної колекції, не розкриваючи її внутрішньої структури. Його можна використати для керування колекціями компонентів або деталей. В процесі збирання транспортних засобів може виникнути потреба послідовно перебирати різні компоненти, наприклад, для монтажу або контролю якості. Патерн «Ітератор» дозволяє здійснювати це безпосередньо, надаючи зручний інтерфейс для послідовного доступу до елементів колекції. Також за допомогою цього шаблону ми ізолюємо код, що працює з колекцією. Це означає, що зміни в структурі колекції не впливатимуть на основний код програми, що використовує ітератор для перебору її елементів.

«Декоратор»(Decorator): належить до структурних патернів проектування, який дозволяє динамічно додавати нову функціональність об'єктам, не змінюючи їх базової структури. Його використання може бути корисним для вирішення наступних проблем:

1. Розширення функціональності об'єктів: Наприклад, якщо нам потрібно додати додаткові характеристики до окремих компонентів транспортного засобу, такі як додаткові опції обробки кузова або покращені функції безпеки, патерн "Декоратор" дозволяє динамічно додавати ці характеристики без модифікації базових класів компонентів.
2. Комбінування функціональності: наприклад, можна комбінувати декоратори для створення конфігурацій різних комплектацій транспортних засобів.

В цілому, патерн "Декоратор" дозволяє створювати гнучкі та розширювані системи, що можуть легко адаптуватися до змінних вимог і умов виробничого процесу.

Отже, використання патернів дозволяє розробникам уникнути багатьох типових помилок, підвищити повторне використання коду, полегшити розширення та підтримку системи. Крім того, вони сприяють покращенню загальної архітектури програмного забезпечення, забезпечуючи високу якість та надійність розроблених систем.

Використання патернів проектування у виробничому процесі збирання транспортних засобів допомагає створити більш ефективні та гнучкі програмні системи, які відповідають вимогам сучасності та забезпечують успішну реалізацію проектів.

#### Список посилань

1. Head First. Патерни проектування / Е. Фрімен та ін. ; пер. з Англ. А. Якубовська.– Київ : Фабула, 2020. – 672 с.
2. С М. R. Clean code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Upper Saddle River, – NJ : Prentice Hall, 2008. – 431 p.

УДК 629.7.051

**Андрушко А.М.**  
**Кузнецов В.О.**  
**Аркушенко П.Л.**  
**Андрушко М.В.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, artem.andrushko123@gmail.com

### **ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГУ ВИПРОБУВАНЬ ОВТ В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД**

Випробуванню підлягають усі зразки нової та модернізованої техніки, яка надходить і приймається на постачання Збройних Сил України та інших силових структури держави. Випробування займають важливе місце в життєвому циклі будь-якого сучасного озброєння та техніки. Вони є невід'ємною складовою частиною складного технологічного процесу виготовлення і модернізації технічних об'єктів, зокрема військової техніки і техніки спеціального призначення.

Метою досліджень є визначення напрямків та доцільності скорочення обсягу випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) в особливий період і ризиків, які можуть виникнути.

В зв'язку з переходом України до стандартів НАТО у випробувальному процесі реалізується поступовий перехід на схеми випробувань та сертифікації ОВТ, які прийняті в країнах НАТО [1-3].

При випробуваннях ОВТ застосовуються два основні методи:

- експериментальний – шляхом проведення натурних випробувань об'єкта в певних умовах функціонування з метою його вивчення (тобто, активним спостереженням);
- моделювання об'єкта – шляхом складання математичної (числової) моделі, як аналога об'єкта, та її вивчення при функціонуванні та імітації різноманітних впливів.

Часто застосовується комбінований розрахунково-експериментальний метод, де частина вихідних параметрів визначається інженерним розрахунком (моделюванням), а частина – експериментальним шляхом.

Особливий період може включати кризові ситуації, надзвичайні обставини або інші фактори, які ускладнюють проведення звичайних дій, включаючи випробування. Під час бойових дій або інших кризових ситуацій в державі може виникнути потреба у швидкому та ефективному збільшенні засобів ОВТ.

Скорочення обсягу випробувань в особливий період може призвести до ризиків у забезпеченні достовірних та репрезентативності даних та мати деякі негативні наслідки:

- зменшення статистичної достовірності та представленості вибірки викликає зниження точності результатів випробувань;
- при недостатній кількості випробувань для отримання вичерпного обсягу інформації, рішення, прийняті на їх підставі, можуть бути менш обґрунтованими, що може призвести до небажаних наслідків (збільшується ризик помилкового прийняття рішення);

– при значному зменшенні обсягу випробувань, вибірка може стати менш репрезентативною для загального числа зразків ОВТ, що може призвести до спотворення результатів;  
– при зменшеному обсязі випробувань ОВТ рідкісні або незвичайні явища можуть залишитися непоміченими;

– скорочення випробувань може позначитися на підготовці до майбутніх подібних періодів, коли точний аналіз і випробування можуть бути необхідні;

– зменшення обсягу випробувань відбувається без належного обґрунтування, що може підірвати довіру до процесу прийняття рішень.

Скорочення обсягу випробувань ОВТ під час бойових дій може бути обґрунтованим у випадках, коли існують об'єктивні обставини (потреба нових, модернізованих зразків ОВТ для виконання бойових задач по захисту незалежності держави при обмеженні ресурси часу, грошей або доступу до дослідницьких об'єктів). Разом з тим це повинно відбуватися з дотриманням належних стандартів якості та уникненням спотворення результатів.

Існує декілька напрямків (методів) скорочення обсягу випробувань, зберігаючи при цьому належну репрезентативність та достовірність даних:

– вибір стратегічного напрямку: визначаються ключові аспекти, які вимагають тестування (перевірки), зосередження ресурсів на найбільш важливих аспектах;

– при виборі (репрезентативна вибірка) деякої обмеженої кількості об'єктів досліджень, необхідно переконатися, що ця вибірка є репрезентативною для загальної кількості об'єктів, яку досліджуємо;

– використання:

а) статистичних методів може зменшити обсяг випробувань, зберігаючи при цьому статистичну достовірність (застосовуючи методи вибіркового тестування);

б) методу комп'ютерного моделювання допоможе відобразити реальний стан у контрольованому середовищі, що дозволить зменшити кількість реальних випробувань;

в) попередніх даних або наявних досліджень для скорочення обсягу випробувань, особливо якщо питання дослідження близьке до попередніх досліджень;

г) (залучення експертів у відповідній галузі) методу експертних оцінок для визначення найважливіших аспектів для тестування та відкинути менш важливі;

д) альтернативних методів (такі як аналіз чутливості або ризиків) можуть допомогти зрозуміти важливість окремих факторів;

– при наявності великої кількості параметрів для тестування необхідно зосередження на ключових параметрах, які мають найбільший вплив на результати;

– врахування потреб та очікування зацікавлених сторін при прийнятті рішення, постійний моніторинг результатів для зміни (при необхідності) стратегії та співпраця з міжнародними організаціями для скорочення обсягу випробувань.

Таким чином, під час бойових дій або інших кризових ситуацій важливо забезпечити максимальну ефективність використання доступних ресурсів та швидке прийняття рішень, зберігаючи при цьому належну обґрунтованість та якість.

Дуже важливо зберігати баланс між необхідністю скорочення обсягу випробувань ОВТ та забезпеченням належної якості результатів і аналізу. Рішення про скорочення обсягу випробувань повинні прийматися раціонально обдуманно та за участю відповідних експертів.

### Список посилань

1. ДСТУ В 15.210: 2023 Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Випробування озброєння та військової техніки. Основні положення. Класифікація. – К.: Державний стандарт, 2023.

2. ДСТУ В 15.211: 2023 Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Програми і методики випробувань. Основні положення. – К.: Державний стандарт, 2023.



3. Борщ В.В. Деякі особливості застосування стандартів НАТО серії AQAP щодо забезпечення єдності вимірювань при випробуваннях виробів озброєння та військової техніки / В.В. Борщ, О.І. Вервейко, М.І. Світенко, А.О. Семироз // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Черкаси: ДНДІ ВС ОВТ, 2023, №1(15) – С. 26-33.

УДК 621.762:678-19

**Оксенюк С.Р., здобувач освіти**  
**Пастернак В.В., канд. Техн. наук, доцент**

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, [Shyberko@ur.net](mailto:Shyberko@ur.net)

## **РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МАЙБУТНЬОМУ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

З кожним роком штучний інтелект (ШІ) все більше проникає в різні сфери нашого життя, перетворюючи їх із фантастичних концепцій на реальність, від побутових пристроїв до складних систем управління, від медицини до фінансів і т.д. [1]. Тому, актуальним є дослідження ключових аспектів ШІ, його застосування, а також швидкі перспективи подальшого розвитку в сферах бізнесу, науки, медицини, інформаційних технологій та багатьох інших галузей [1, 2]. Слід відмітити, що ключові аспекти штучного інтелекту (ШІ) можуть бути обґрунтовані на основі наступних критеріїв:

1) **автоматизація процесів** (ШІ дозволяє автоматизувати рутинні задачі, що звільняє людей від монотонної роботи та дозволяє їм зосередитися на більш творчих та стратегічних завданнях. Це застосовується у величезному спектрі сфер, від виробництва до бізнесу та медицини);

2) **аналітика та прогнозування** (ШІ дозволяє аналізувати великі обсяги даних та робити прогнозування на їх основі);

3) **персоналізація** (застосування ШІ дозволяє створювати персоналізовані рекомендації та послуги для користувачів, що підвищує їх задоволення та ефективність використання);

4) **виробництво та транспорт** (використання ШІ на виробництві дозволяє оптимізувати процеси, підвищувати якість продукції та знижувати витрати. У сфері транспорту ШІ допомагає вдосконалити системи управління трафіком та безпекою на дорогах);

5) **екологія** (ШІ може бути використаний для моніторингу та прогнозування змін клімату, оптимізації використання енергії та ресурсів, а також для пошуку нових шляхів збереження природних ресурсів).

Слід відмітити, що перспективи подальшого розвитку штучного інтелекту включають удосконалення алгоритмів навчання, розвиток більш потужних обчислювальних систем, забезпечення високої ефективності та надійності систем ШІ, а також розробку етичних стандартів та правового регулювання їх використання. Запровадження цих технологій вимагає детального вивчення, їх можливостей, наслідків для суспільства, економіки та культури, а також розробки нових механізмів для мінімізації можливих негативних наслідків.

**Висновок.** Штучний інтелект, безумовно, є однією з найбільш перспективних та потужних технологій нашого часу. Його застосування в різних сферах життя вже демонструє значний вплив на ефективність, продуктивність та зручність життя людей. Однак, разом із своїми перевагами, ШІ також створює ряд викликів та питань, які потребують більш детального вивчення та вдосконалення.

### **Список посилань**

1. Пастернак В.В. Еволюція розвитку інформаційних систем та технологій. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : тези доп. XII Міжнар. наук.-практ. конф. (26-27 травня 2022 р.). Чернівці, 2022. С. 180-181.

2. Пастернак В.В. Особливості моделювання методами StarUML. *Математичні методи та моделі технічних і економічних систем*: тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. (22-23 лист. 2022 р.). Тернопіль, 2022. С. 146-147.

УДК 004.896

Третяк В.В., канд. техн. наук, доцент  
 Нижник С.М., канд. техн. наук, доцент  
 Голуб О.В., аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», [v.tretyak@khai.edu](mailto:v.tretyak@khai.edu)

## ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТП З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДА СТРУКТУРНО-АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОДОБИ

В більшості відомих сучасних САПР систем для проєктування технологічних процесів використовується метод аналога. Однією з актуальних задач інтелектуальних систем є задача автоматизованого проєктування перспективних технологічних процесів методом син теза. Одним з перспективних функціональних методів є метод син теза з елементами аналогами. Розроблений в ХАІ проф. Сіроджею І. Б. метод структурно-аналітичних моделей має свої значущі переваги [1]. В доповіді представлено декілька вікно розробленого програмного модуля і його тестові розрахунки для елемента ТП – маршрута групового ТП механообробних операцій. На рис. 1 представлено вікно екранної форми модуля для отримання таблиці імперичних даних – «Будівника ТЕД». Для представленого ТП, вона включає 5 показників (вид заготовки, партія, вид термобробки, вид зубооброблення і степінь точності). На рис. 2. представлена екранна форма для вибору типів шкал (використовується бінарна, кількісна, шкала порядку, і строкова шкала).

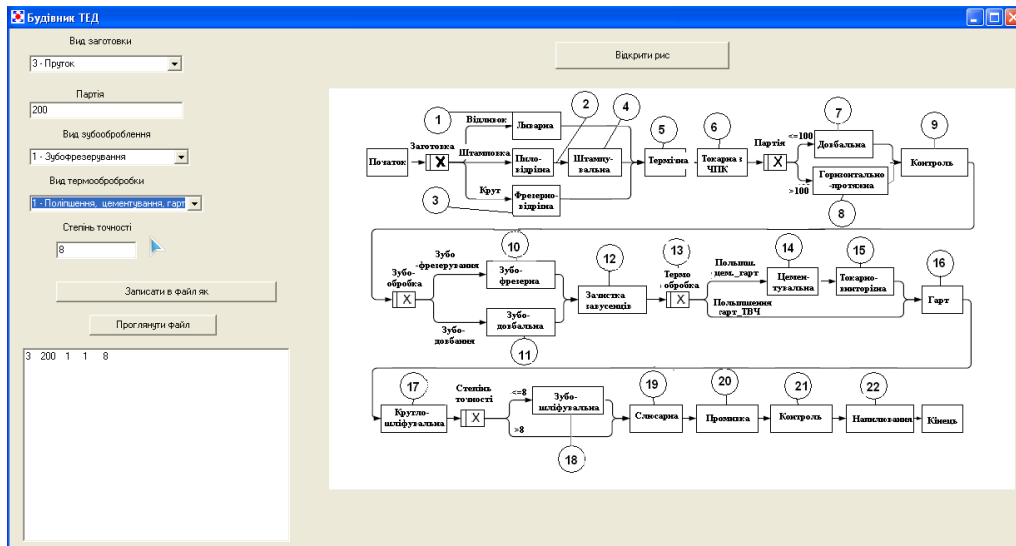


Рис.1 – Вікно екранної форми модуля «Будівник ТЕД»

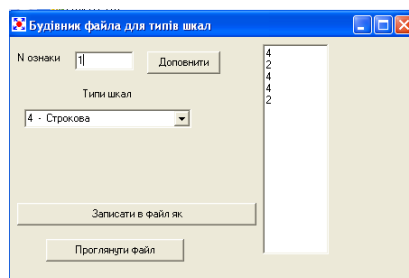


Рис.2 – Вікно екранної форми модуля «Будівник файла шкал»

Для побудови елемента ТП (в даному випадку – маршрута ТП) необхідно сформувати файл з даними технологічного дерева, яке є табличним уявленням дерева ТП, представленого на рис 1. Для цього використовується модуль – «Будівник технологічного дерева» (рис.3).

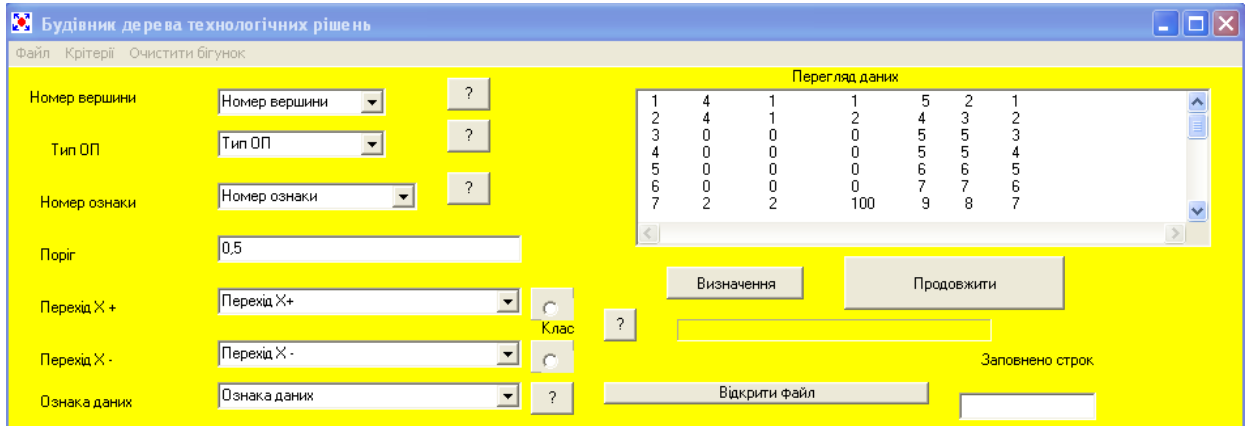


Рис.3 – Вікно екранної форми модуля «Будівника технологічного дерева»

На рис. 4 представлена екранна форма для генерації елемента ТП (маршрута ТП) по сформованим вище даним.

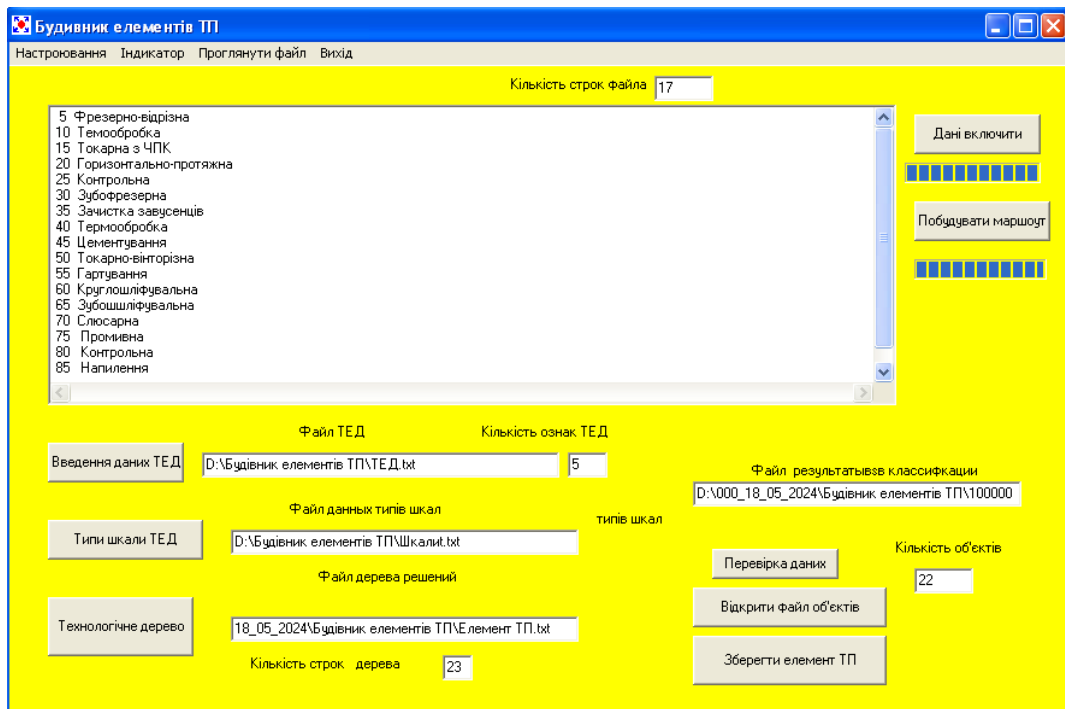


Рис.4 – Вікно екранної форми модуля «Будівник елемента ТП»

Сформований файл маршрута ТП передається в інший модуль для оформлення технологічної документації [1]

### Список посилань

1. Близнюк О.О. Автоматичне формування елементів і структури ТП за допомогою структурно-аналітичних моделей розпізнавання образів / О.О. Близнюк, В.В.. Третяк // Молода наука – робототизація і нанотехнології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції, 10-12 квітня 2024 р. – Краматорськ, ДДМА, 2024. – С . 119-125.

УДК 629.7.051

Тертишнік Є.М.  
Потапов О.І.  
Кузьміч О.Є.  
Мішок А.А.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, [tertushnik1983@gmail.com](mailto:tertushnik1983@gmail.com)

## ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ ВІДЕОРЕЄСТРАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО ПЕРІОДУ

У контексті військової агресії росії, ефективне використання ресурсів для вимірювання, реєстрації та індикації параметрів в складі систем вимірювань стає важливим елементом розвитку військової техніки Збройних сил. Оброблені в автоматизованих системах дані, надають можливість використовувати їх у випробуваннях модернізованих зразків військової техніки, забезпечуючи найвищий рівень ефективності та надійності [1-5].

Стрімкий розвиток технічних засобів вимірювань, перетворення та обміну даними всередині систем та між ними вимагають необхідності удосконалення методів оптимізації розробки бортових систем збору та обробки польотної інформації для забезпечення проведення випробувальних робіт, які враховують особливості розвитку електронного обладнання на даному етапі розвитку авіаційної техніки і будуються на єдиному підході до проблеми оптимального використання ресурсів систем збору і обробки польотної інформації [6-8].

Високі вимоги до швидкості і точності перетворення польотних даних роблять актуальною проблему раціонального вибору і використання апаратних і програмних засобів в умовах жорстких обмежень на продуктивність, вагу і надійність системи.

Сучасні засоби відеореєстрації цілком виправдано отримали широке застосування в Збройних Силах України.

Розроблення технології проведення випробувань засобів відеореєстрації є одним з багатьох важливих питань.

Розглянемо основні етапи функціонування моделі засобу відеореєстрації повітряних суден: встановлення відеокамер, збір відеоданих, передача даних на землю, обробка відеоданих, відстеження траєкторій руху суден, ідентифікація типів суден, відображення та аналіз даних, сповіщення та реагування на небезпечні ситуації, збереження даних [9-12].

Це загальна модель, а реальна система може містити багато додаткових деталей, таких як автоматичні системи уникнення зіткнень, взаємодія з повітряними контрольними службами та інші функції. Модель може варіюватися в залежності від конкретних технологій та систем, що використовуються для відеореєстрації повітряних суден. Технологічний прогрес впливає на вдосконалення процесів відеореєстрації та відстеження.

Покращення функціонування засобів відеореєстрації повітряних суден може бути корисним для багатьох сфер, включаючи авіаційну безпеку, дослідження польотів, навчання пілотів та багато іншого.

Розглянемо варіанти покращення функціонування систем відеореєстрації повітряних суден:

1. Забезпечення використання високоякісних камер та обладнання для отримання деталізованого зображення суден.
2. Використання сенсорів з високороздільною здатністю для отримання більшої кількості інформації про судна.
3. Розробка та застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації аналізу відеоданих.

4. Створення тривимірних моделей суден для більш докладного аналізу їхньої структури та руху.
5. Можливість реєстрації відео в реальному часі для оперативної реакції на зміни у стані суден.
6. Використання термальних та інфрачервоних камер для виявлення теплових різниць та можливих проблем.
7. Застосування технологій обробки великих даних для виявлення зв'язків та тенденцій у русі суден.
8. Покращення алгоритмів стабілізації та відшумлення для забезпечення високої якості зображень.
9. Розробка системи автоматичного сповіщення у разі виявлення потенційно небезпечних ситуацій.
10. Проведення постійного тестування та вдосконалення системи з використанням реальних даних та в різних умовах.

Впровадження означених підходів є запорукою покращення функціонування систем відеореєстрації ПС, забезпеченням безпеки та ефективності авіаційних операцій і підґрунтям для розроблення технології проведення випробувань засобів відеореєстрації ПС зі скороченим обсягом.

#### Список посилань

1. Указ Президента України “Про затвердження Державної цільової програми розвитку озброєння та військової техніки на період до 2020 року”, затверджена Кабінетом Міністрів України 30.03.2016 року.
2. Воєнна доктрина України: Постанова Верховної Ради України від 19 жовтня 1993 року №3529-ХІІ з доповненнями від 21 грудня 2000 року №2171-Ш//www.iac.dod.ua.
3. Стратегічний оборонний бюлетень (Оборонна Біла Книга України), схвалено Указом Президента України від 27.02.2016, 38 с.
4. Наказ Головнокомандувача Збройних Сил України від 28 серпня 2020 року №127 “Про затвердження Інструкції з формування оперативно-стратегічних, оперативно-тактичних та загальних вимог до перспективних (нових, модернізованих) систем (комплексів, зразків) озброєння та військової техніки Збройних Сил України”. С 6-7.
5. Сучасні вимірювальні системи та їх можливості (на прикладі продукції фірми imc) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sensorika.com/> дата звернення 20.12.2022.
6. Офіційний сайт <https://gopro-ua.com> “GOPRO” дата звернення 20.07.2021.
7. Високочутливі швидкісні камери NAC Memrecam Серія GT. Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pribory.com/product/vysokuchuvstvitelnye-skorostnye-kamery-nac-memrecam-seriya-gx/> дата звернення 20.12.2022.
8. Вимірювальні прилади FLUKE (США). Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – [www.fluke.kiev](http://www.fluke.kiev).
9. ГОСТ В 20.39.304-76 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Общие технические требования, методы контроля и испытаний. Конструктивно-технические требования. [Електронний ресурс]. – <https://www.twirpx.com/file>.
10. Наказ командувача Повітряних Сил Збройних Сил України від 03.12.18 № 228 “Про затвердження Інструкції з об’єктивного контролю в авіації у Повітряних Силах Збройних Сил України”. С 5-21.
11. ДСТУ В 3275-95 Системи автоматизованого оброблення польотної інформації наземні. Загальні технічні вимоги. – Київ: Держстандарт України, 1995. С.2-5.
12. Шейн І.В. Розробка Загальних вимог до засобів бортових вимірювань для проведення випробувань озброєння та військової техніки (Шифр “Контроль СБВ”). Звіт про Оперативне завдання – Чернігів.: ДНДІ ВС ОВТ, 2020. – с.22-34.

## СЕКЦІЯ 9

### ЕКОНОМІЧНІ, ПРАВОВІ ТА СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ. ПРОБЛЕМИ ОСВІТИ

UDC 678.6

**Serhii Prystynskyi, Head of the production process support and optimization department, PhD student,**  
KOSTAL Ukraine LLC, Kyiv National University of Technologies and Design  
[s.prystynskyi@kostal.com](mailto:s.prystynskyi@kostal.com),

**Viktoriia Plavan, Head of the department of chemical technologies and resource saving, Prof., Dr. SciTech**  
Kyiv National University of Technologies and Design, [plavan.vp@knutd.com.ua](mailto:plavan.vp@knutd.com.ua)  
**Andrii Hrytsenko, Senior incoming inspection/quality claims specialist, student,**  
KOSTAL Ukraine LLC, Kyiv National University of Technologies and Design,  
[a.grytsenko@kostal.com](mailto:a.grytsenko@kostal.com)

#### TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE AS AN APPROACH TO ENHANCE TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS

Business entities use various devices and equipment in their activities. Depending on the technology, such basic indicators as maximum productivity, life cycle, OEE (Overall Equipment Effectiveness), operating time, mean time between repairs (MTBR) and mean time to repair (MTTR) characterize the equipment. To ensure optimal management of equipment and to achieve positive financial results, some companies implement the philosophy and approaches of Total Productive Maintenance (TPM).

TPM, along with Lean, plays one of the key roles in assurance the quality of technological processes, as well as production systems. The highest level of quality can be achieved thanks to the choice of the right strategy, which is focused on the basic principles of TRM (Fig. 1).

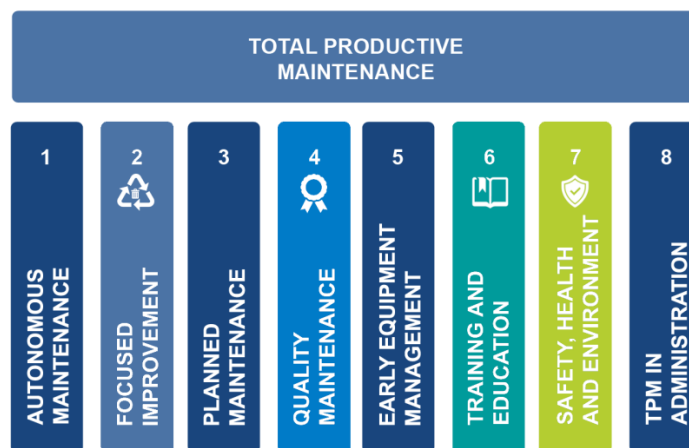


Fig.1 – Principles of Total Productive Maintenance

Despite the growing popularity of TPM, there is a problem of effective implementation and further management of the process of maintenance of production equipment, which negatively affects both financial efficiency and the level of quality of technological systems. The main problem is that top management and cross-functional teams who implement TPM do not clear understand the purpose and objectives of the philosophy and its tools. This way they form in advance non-effective strategies and control plan. Therefore, due to lack of goals, systems approach and analysis of the initial environment, it is mistakenly believed that it is enough to

implement only one or more principles of TPM. It leads to the failure of the strategy and the increase of problems related to equipment.

Using the example of medical equipment for which it is important to have trouble-free operation, it was proven that an experimental group of equipment that was not subject to scheduled maintenance had significant failures and downtime compared to another group where planned maintenance was carried out [1].

Therefore, in modern production it is customary to divide maintenance into the following programs: Corrective, Proactive, Predictive and Preventive maintenance. It should be noted that the correct maintenance policy plays a key role in the company's management strategy. That is why, it is worth noting that according to recent studies, preventive maintenance is the most common strategy, while predictive maintenance is developing the most nowadays [2].

It is known that all activities related to the life cycle of equipment from development to disposal require significant investment to maintain operability and capability. Thus, in order to achieve maximum efficiency, it is necessary to systematically approach the implementation of TPM, namely to choose the optimal strategy of autonomous and preventive maintenance [3, 4].

In this study, an analysis of wastes in a company of the automotive industry was carried out by ranking TPM activities according to the following criteria: Value Added (VA), Non Value Added (NVA), Non Value Added required (NVA<sub>r</sub>) (Fig. 2).

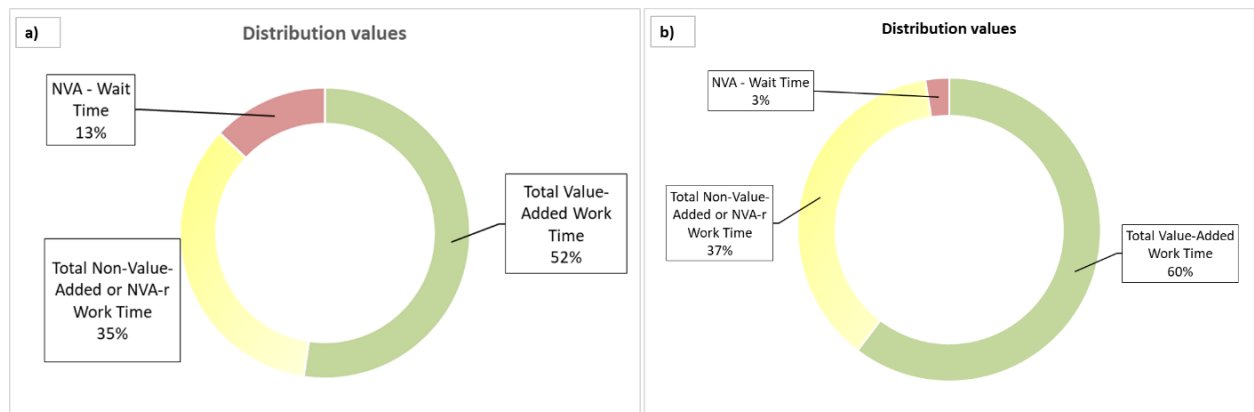


Fig. 2 – Distribution of costs for TPM activities according to value added: a) before strategy choice; b) after strategy choice.

It was established that TPM was implemented without prior analysis and assessment of VA, where NVA was 13% of FTE (Full Time Equivalent) (Fig. 2a), and the ratio VA/NVA was 1.09. After the applying 6SIGMA, DMAIC methods, definition and development of strategy and its implementation, NVA reduced from 13 to 3% (Fig. 2b). Thus, the understanding of wastes makes it possible to preventively ensure the quality of technological processes and systems by developing criteria for choosing the optimal strategy in view of the value added. Therefore, a new strategy of "situational" or combined maintenance was developed. The implementation of the "situational" maintenance strategy led to an increase in VA/NVA to 1.52 or by 38% to compare with initial situation.

### References

1. A. Jezzini, M. Ayache, L. Elkhansa, B. Makki and M. Zein, "Effects of predictive maintenance(PdM), Proactive maintenace(PoM) & Preventive maintenance(PM) on minimizing the faults in medical instruments," *2013 2nd International Conference on Advances in Biomedical Engineering*, Tripoli, Lebanon, 2013, pp. 53-56, <https://doi.org/10.1109/ICABME.2013.6648845>.
2. Gackowiec, Paulina. General overview of maintenance strategies–concepts and approaches. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 2019, 2.1: 126-139. <https://doi.org/10.2478/mape-2019-0013>
3. Ganie, Abdul Basit; Singh, Er Jasdeep. Predictive Maintenance of Aircrafts on Large Scale Industrial Units Using Machine Learning Algorithms. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46837>

4. Zhang, C., Zhang, Y., Dui, H., Wang, S., & Tomovic, M. M. (2022). Importance measure-based maintenance strategy considering maintenance costs. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.17531/ein.2022.2.3>

УДК 327.56 323.22

**Zemlyanska O.V., Senior Lecturer**  
**Polukarov Yu.O., Ph.D, Associate Professor**  
**Polukarov O.I., Ph.D, Associate Professor**  
**Kovtun A.I., Ph.D, Senior Lecturer**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,  
[polukarov@ukr.net](mailto:polukarov@ukr.net),

### **NEW SECURITY STRATEGIES FOR THE PROTECTION OF THE CIVILIAN POPULATION IN CONDITIONS OF FULL-SCALE WAR**

Nowadays, major conflicts create unforeseen problems that threaten both territorial integrity and the safety of citizens. This article discusses the importance of protecting civilians in such situations and emphasizes the need to develop and implement effective security strategies [1].

Much attention is paid to protection strategies using the latest technologies, such as warning systems, rapid evacuation and other innovative means aimed at ensuring the safety of citizens. This article is a significant contribution to the understanding of the problems and challenges associated with the protection of the population during large-scale military conflicts. During a full-scale war, which covers large territories and is caused by a large number of military operations, it significantly affects various spheres of public life and requires the protection of the civilian population. Special attention in this context should be focused on how to protect citizens, especially those who are closest to the combat zone [1].

That is why the protection of the civilian population from the consequences of a full-scale war requires immediate attention and a competent response. The civilian population in the war zone becomes direct witnesses and victims of the consequences of the armed confrontation of the parties to the conflict. In such conditions, there are various threats to the physical health of citizens, namely [2]:

- civilians become victims of direct shelling, explosions and other military actions that lead to their injuries or death;
- active hostilities can hinder the work of medical institutions and limit access to medicines and medical care;
- face hunger and lack of resources as a result of the destruction of infrastructure and interruptions in the supply of food and other necessary resources;
- forced to leave their homes due to security threats, which can cause post-traumatic stress, depression and other mental disorders or trauma;
- face the use of chemical or biological weapons, which can lead to mass poisoning and diseases among the civilian population;
- be subject to violence, deportation, torture and other forms of human rights violations;
- have difficulties with access to water, electricity, transport and other necessary resources due to the massive destruction of buildings, roads, bridges and other infrastructure facilities;
- to lose relatives and face a break in family ties, which causes severe emotional distress among the civilian population;
- face an increased risk of terrorist attacks on the civilian population, which can lead to mass casualties and injury to people.



Analyzing the current state and features of the protection of the civilian population, we create a basis for further study and development of strategies aimed at reducing risks and maximally ensuring the safety of the civilian population, especially those who are closest to the conflict zone.

To achieve this goal, it is necessary [3]:

- analyze statistical data and reports and investigate the main trends in the impact of military operations;
- collect and record information about violations of people's rights in order to better understand their needs and requirements for rehabilitation.
- involve experts from various fields, such as psychology, medicine and military strategy, to develop complex protection methods;
- constantly monitor and evaluate the actions of warning systems, evacuation and other measures designed to protect the population.

These steps will help to better understand the situation and improve protection strategies to ensure an improved level of security for the civilian population in the conflict zone. All this work will make it possible to better define the main physical and psychological problems faced by the civilian population near the front line. Based on the received data, it is possible to develop an alert and evacuation system to ensure maximum safety of citizens in the event of a threat of an enemy attack. It will also be important to implement psychological support and rehabilitation programs in the territories under control for those who have survived trauma or lost loved ones. Improve existing and implement new security measures that will minimize physical threats to people.

Research and analysis of medical records and reports by humanitarian aid organizations is a key step in determining the extent and nature of injuries sustained by civilians in a conflict zone. Information about these injuries helps develop more effective medical care and rehabilitation programs. The use of reports from the International Red Cross and Red Crescent provides valuable data on the humanitarian situation in conflict zones, which helps in identifying the immediate needs of the population and planning humanitarian assistance. Development of an alert and evacuation system based on data analysis can ensure maximum safety of citizens in case of danger. Improving the security system based on data analysis can help reduce threats to citizens and ensure their maximum safety.

The general approach to the protection of the civilian population in conditions of war and conflict can be supplemented and strengthened by:

- improvement and development of the system of rapid response to emergency situations and threats to the civilian population;
- improvement of the training system of medical personnel and volunteers;
- ensure free access of the civilian population to educational and informational resources on security issues;
- improve cooperation with international partners and exchange of experience in the field of protection of the civilian population to improve protection methods and strategies, as well as ensure access to additional resources and support.

### References

1. Веселов М., Забеділіна А. Цивільний захист населення в умовах воєнного стану // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. – 2023. – Т. 129. – №. 4. – С. 98-114. [https://doi.org/10.31617/3.2023\(129\)09](https://doi.org/10.31617/3.2023(129)09).
2. Клименко Н. Особливості забезпечення цивільного захисту в умовах воєнного стану // Науковий вісник: Державне управління. – 2022. – №. 2 (12). – С. 218-233. [https://doi.org/10.33269/2618-0065-2022-2\(12\)-218-233](https://doi.org/10.33269/2618-0065-2022-2(12)-218-233).
3. Yu. Polukarov, N. Kachynska, O. Zemlyanska, O. Polukarov. Legal principles of protection of the civilian population in conditions of war // Світ наукових досліджень. Випуск 27: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща, 22-23 лютого 2024 р.) / за ред. : О. Патряк та ін. ГО “Наукова спільнота”, WSZIA w Opolu. – Тернопіль: ФО- П Шпак В.Б., 2024. – С. 157-159. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65200>.

UDC 629.017

**Sereda B., Doctor of technical sciences, professor**

**Zuzin Y., PhD student**

**Orel V., PhD student**

Dnipro State Technical University, Kamianske, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

## **ECONOMIC ASPECTS OF TRANSPORTATION MANAGEMENT EFFICIENCY IN METALLURGY**

Motorized mining vehicles are widely used in open-pit mining operations around the world. The expediency of using motor vehicles in mining is due to their high technical and economic performance when used in various conditions. Improving the operation of mining dump trucks by rationally distributing them among excavators, taking into account the influence of various technical and operational factors and the structure of the fleet, will increase the productivity of mining vehicles, reduce the downtime of the automobile excavator complex, increase the volume of transported rock mass and, as a result, reduce the cost of its transportation. In today's environment, one of the main tasks of any enterprise is to increase the efficiency of the transportation process at minimal cost. In open-pit mining, the primary mode of transporting rock mass is through open-pit transportation. Its objective is to transfer overburden from excavation fronts to dumps and ore from fronts to either the processing plant or the warehouse for finished products. Mining transport encompasses various methods, categorized into two main groups. The first is continuous transport, including railways, a prevalent mode in quarry transport. Road transport, commonly utilized in quarries with small to medium production capacity, and mechanisms like skip hoists and cable cranes also fall under this category [1].

Areas of effective use of road mining transport: construction of quarries, development of deposits with irregular contours or deposits located in mountainous and rugged terrain; development of horizontal or slightly inclined layers in case of rapid advancement of the work front; excavation of minerals by grade or excavation of individual layers and blocks; development of deposits located at great depths. For the most part, quarries that use road mining transport have limited dimensions (usually no more than 2-3 km long and 150-200 m deep). The optimization of road mining transport is associated with the highest possible utilization of excavators in the workings. Therefore, the scheme of access roads for loading is chosen taking into account the shortest time for maneuvers, delivery and change of dump trucks. The duration of loading is influenced by the productivity of the excavator (loader) and the volume of the dump truck body, which should be a multiple of the excavator bucket capacity.

Changes in a dump truck's route (redirecting to another excavator) can occur due to excavator malfunctions or its relocation to a different face. These decisions are typically made by the main production foreman, who reports to the chief shift supervisor at the open pit

Improving the operation of mining dump trucks by rationally distributing them among excavators, taking into account the impact of various technical and operational factors and the structure of the fleet, will increase the productivity of mining vehicles, reduce downtime of the road excavator complex, increase the volume of transported rock mass and, as a result, reduce the cost of its transportation.

### **References**

1. Pomazkov M.V., Simkin A.I. Mekhanizm operativnogo upravleniya otsenkoy tekhnicheskogo sostoyaniya parka bolshegruznykh avtosamosvalov v metallurgicheskoy promyshlennosti. [The mechanism of operational management evaluates the technical condition of the fleet of heavy-duty dump trucks in the metallurgical industry] *Zakhist metalurgiy-nikh mashin vid polomok: zb. naukovykh pracz / PDTU.* – Mariupol, 2009. Vyp. 11. – С. 87-89. (in Ukrainian).

УДК 623.67

**Лаппо І.М., канд. техн. наук, доцент**  
 Центр протимінної діяльності, м. Чернігів  
**Чередніков О.М., канд. техн. наук, доцент**  
 Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
 військової техніки, м. Черкаси

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОТИМІННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Система управління якістю (СУЯ) є важливою складовою протимінної діяльності (ПМД) для забезпечення ефективного та безпечного здійснення операцій протимінних заходів і використання технологічного спорядження. Основна мета такої системи полягає в забезпеченні ефективного контролю та управління процесами, спрямованими на запобігання, виявлення та усунення можливих загроз інцидентів, пов'язаних з мінами та вибуховими пристроями. Ця система розробляється для того, щоб забезпечити безпеку та захист персоналу, об'єктів інфраструктури, а також для мінімізації можливих матеріальних збитків та інших негативних наслідків, що можуть виникнути внаслідок вибухів та інших подібних подій.

Для досягнення цієї мети СУЯ ПМД може включати в себе стандартизовані процедури, навчання персоналу, технічне обладнання для виявлення та реагування на загрози, а також системи моніторингу та аналізу. Огляд ключових аспектів СУЯ в ПМД дозволяє узагальнити інформацію про складові системи управління якістю в протимінній діяльності, які наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні складові системи управління якістю в протимінній діяльності

<b>Складова</b>	<b>Функції в управлінні якістю</b>
Стандартизація процесів	Розробка, впровадження та підтримка стандартів і процедур для уніфікації та оптимізації робочих процесів. Це включає документацію, розпорядження та процедури з контролю якості.
Навчання та підготовка	Організація систематичних програм навчання та тренувань для персоналу, які охоплюють відповідні технічні знання, навички та процедури безпеки, які необхідні для виконання їх робочих обов'язків в ефективний та безпечний спосіб.
Контроль якості	Реалізація підсистеми контролю та моніторингу, яка включає в себе регулярну перевірку виконання процесів, аналіз відхилень від стандартів, ідентифікацію та виправлення помилок та постійне вдосконалення процесів.
Стратегічне планування	Розробка довгострокових та короткострокових стратегій та цілей, що відповідають місії та цілям організації у сфері протимінної діяльності. Включає аналіз ризиків, ідентифікацію можливих викликів та розробку планів мітки на майбутнє.
Зворотний зв'язок та вдосконалення	Підсистеми збору, аналізу та використання зворотного зв'язку від зацікавлених сторін. Включає механізми збору відгуків, аналізу даних та розробку дій для постійного вдосконалення якості продуктів та послуг.

Про кожну складову таблиці можливо розширити інформацію, надаючи більше конкретних деталей та контексту. Важливою характеристикою будь-якої системи є наявність зворотних зв'язків для забезпечення постійного вдосконалення процесів і продуктів на основі отриманих відгуків та аналізу даних.

Зворотний зв'язок процесу отримання, аналізу та використання інформації, що надходить від різних сторін, таких як замовники, виробники, постачальники тощо.

Зворотний зв'язок може бути у формі недоліків і зауважень, рекомендацій, пропозицій до актів протоколів випробувань, спільних рішень, відгуків, скарг, тощо. Ця інформація дозволяє організації зрозуміти потреби та очікування клієнтів, виявити можливі проблеми та недоліки в продуктах або процесах, а також ідентифікувати можливості для покращень.

На основі отриманого зворотного зв'язку та аналізу даних організація може розробити та впровадити заходи для постійного вдосконалення якості своїх продуктів або послуг. Це може включати в себе розробку нових процесів, вдосконалення існуючих процесів, модифікацію продуктів чи послуг, підвищення навичок персоналу через навчання та тренінги, впровадження нових технологій тощо. Отже, зворотний зв'язок та вдосконалення сприяють циклічному процесу покращення якості, де збір і аналіз відгуків дозволяє ідентифікувати проблемні питання або можливості для покращень, а впровадження відповідних заходів допомагає покращити продукти та процеси, в результаті чого відновлюється інтерес і зворотній зв'язок від зацікавлених сторін.

Метод оцінки якості процесів та оснащення потребує урахування великої кількості показників (чинників), які вимірюються або визначаються шляхом опитування експертів, з використанням різних типів критеріїв якості (технічних, ергономічних, часових, економічних та функціональних), інформує про різні аспекти, пов'язані з якістю та дозволяє визначити більш точну інтегровану оцінку якості зразків.

Згідно з ДСТУ ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги» оператори ПМД створюють і реалізують задокументовану внутрішню систему управління якістю [1-4]. Одним з напрямків є використання державних стандартів та рекомендацій, міжнародних організацій, таких як Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) та Європейський комітет зі стандартизації (CEN). Служба ООН з питань протимінної діяльності (UNMAS) є підрозділом у структурі ООН, що несе відповідальність за розробку і підтримку міжнародних стандартів для програм у сфері гуманітарного розмінування МСПМД (IMAS). Ці стандарти та рекомендації визначають методи випробувань та оцінки якості, а також надають рекомендації щодо вибору критеріїв оцінки якості [5-7].

До системи управління якістю в сфері ПМД відноситься:

- оцінка відповідності організацій, процесів, продукції та послуг;
- сертифікація організацій, обладнання, процесів, послуг;
- інспектування очищеної/ розмінованої території;
- внутрішня система управління якістю оператора ПМД.

СУЯ – це підтвердження відповідності вимогам нормативно-правових актів і можливість гарантувати кінцевим споживачам якість послуг, що задовольнить їхні потреби. Таким чином, система управління якістю ПМД – це сукупність процедур, методик, протоколів, планів, звітів та ряду інших задокументованих процесів, об'єднаних в систему, з метою зробити результат робіт якісним, та удосконалювати цю якість в подальшому.

Управління якістю в сфері ПМД здійснює оперативний орган органу координації питань з протимінної діяльності (ОКМПД). Управління якістю та оцінювання відповідності організацій, процесів, продукції, послуг визначеним вимогам містить наступні процеси: планування, забезпечення, контролювання та поліпшення якості, яке виконується відповідно до схеми, наведеної на рис. 1.

Планування контролю якості здійснюють оперативний орган координації питань з протимінної діяльності та оператори ПМД під час підготовки до виконання завдань ПМД. Поліпшення якості здійснюють оператори ПМД шляхом проведення коригувальних заходів щодо усунення невідповідностей, виявлених у процесі оцінювання відповідності та/або моніторингу.

Правильно впроваджена система управління якістю допомагає забезпечити відповідність нормативним вимогам, підвищити ефективність робочих процесів, зменшити ризики та втрати, а також підвищити задоволення клієнтів. Враховуючи складність та важливість

протимінних операцій, належне управління якістю є вирішальним фактором для успішності та безпеки в цій сфері.

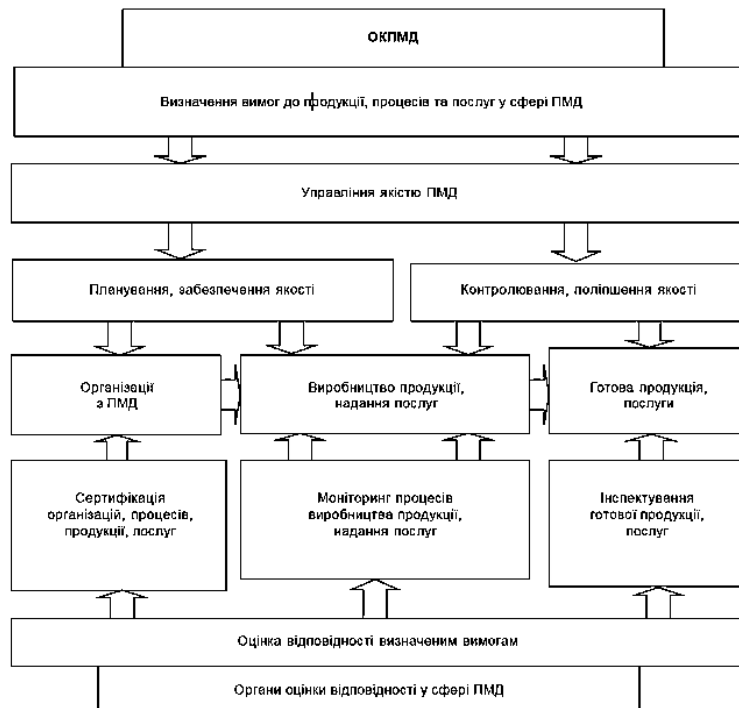


Рис. 1 – Схема управління якістю та оцінювання відповідності організацій, процесів, продукції, послуг визначеним вимогам ПМД

вдосконалення та адаптації до змінних умов.

Отже, ефективна система управління якістю у протимінній діяльності є ключовим фактором успіху, що дозволяє забезпечити надійність, безпеку та високу якість послуг у цій важливій сфері. Включає в себе стандартизацію процесів, навчання та підготовку персоналу, контроль якості, стратегічне планування та постійне вдосконалення.

Слід зазначити, що система управління якістю ПМД є критично важливою для забезпечення ефективності, безпеки та надійності операцій. Ця система включає в себе ряд ключових аспектів, включаючи стандартизацію процесів, навчання та підготовку персоналу, контроль якості, стратегічне планування та зворотній зв'язок для постійного вдосконалення.

ПМД вимагає відповідності високим стандартам безпеки та якості, оскільки навіть маленька помилка може мати серйозні наслідки. СУЯ допомагає забезпечити відповідність всіх аспектів протимінної діяльності цим стандартам, а також надає механізми для постійного

### Список посилань

1. Протимінна діяльність. Процеси управління. Основні положення : ДСТУ 8820:2023 – На заміну ДСТУ-П 8820:2018 ; чинний з 2023-04-01. – К.: ДП “УкрНДНЦ”, 2022. – 84 с.
2. Постанова Кабінету Міністрів України “Про реалізацію експериментального проекту щодо здійснення обов’язкової сертифікації механізованих засобів розмінування (гуманітарного розмінування), пов’язаних з ними виробів, компонентів та обладнання” від 08.03.2024 № 271 // Урядовий кур’єр. - № 55 (7715). – 15.03.2024. – 20 с.
3. Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 06.12.2018 р. № 2642-VIII [Електронний ресурс] //Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 6, ст. 39) (із змінами, внесеними згідно із Законами № 2706-VIII від 25.04.2019, ВВР, 2019, № 22, ст. 82; № 911-IX від 17.09.2020). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua>.
4. Інженерне забезпечення. Глосарій термінів та визначень із знешкодження вибухонебезпечних предметів та протидії саморобним вибуховим пристроям : ВСТ 01.106.105 - 2019 (Видання 1). [Чинний з 2019-10-01]. – К.: Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації, 2019. – 31 с.
5. Лаппо, І.М. Центр протимінної діяльності: основні аспекти діяльності та перспективи розвитку / І. М. Лаппо, Є. М. Бірюков, О. В. Журахов, Ю. М. Добришкін // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, ДНДІ ВС ОВТ. – Черкаси, 2023. – вип. № 1(15). – С. 74-80. DOI: 10.37701/dndivsovt.15.2023.10

6. Roly Evans, Tracey Temple, PhD, Liz Nelson: The Detection Problem: an eight-decade challenge. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2024. Vol. 28. Iss. 1. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3032&context=cisr-journal>.

7. Про затвердження Інструкції про порядок виконання робіт з виявлення, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів: наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 13.02.2020 № 55.

УДК 621.9 (075.8)– 047.58

**Кузнєцов Ю. М., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [info@zmk.kiev.ua](mailto:info@zmk.kiev.ua)

## **ПІДГОТОВКА МОЛОДОЇ ТЕХНІЧНОЇ ЕЛІТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНОСТІ**

Основна риса сучасності в умовах викликів четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» і наближення «Індустрія 5.0» - створення нової техніки і новітніх технологій в секторі засобів виробництва економічно розвиненої держави, де більше уваги приділяється штучному інтелекту, екології, інтеграції науки, освіти, виробництва і сфери послуг [1].

Сьогодні, як ніколи, люди почали замислюватися про майбутнє: своє, як особисті, своєї родини, свого колективу в організації, своєї країни і, навіть, всього людства, задаючи питання: «Що нас чекає в недалекому і далекому майбутньому?». Зараз вчених і мислителів турбує філософія майбутнього і навіть його конструювання, що приводить до ефекту емерджентності і створення несподіваних рішень на рівні винаходів і наукових відкриттів. Це можливо на основі використання системного підходу, застосування теорій еволюційного і генетичного синтезу стосовно складних технічних систем (ТС), що розвиваються в часі [2, 7].

В основу створення складних систем закладено основний принцип генетики «Від простого до складного», тобто уявлення про елементарність, вчення про властивість елементарних структур, які виконують роль теоретичної основи для узагальнення і синтезу знань в сучасних фундаментальних науках. В даному випадку методичною основою виступає принцип існування обмеженої кількості елементарних (породжувальних) структур, що підтверджується дослідженнями в різних областях [2, 5], наприклад: всі живі організми утворені з 24-х хімічних елементів; вся кольорова гама утворена з 7-ми кольорів; всі музикальні твори написані з 7-ми нот; всі числа складаються з 10-ти цифр; всі джерела електромагнітного поля містять 6 геометричних класів поверхонь, тощо.

На сучасному етапі еволюції техніки спостерігаються стійкі тенденції зростання складності проблем, що постають перед спеціалістами в різних галузях технічної діяльності. Це обумовлено процесами конвергенції наук у вигляді нано-біо-інфо-когно-соціо-еко (НБІЕСЕ)-технологій, широким поширенням цифрових технологій, різким збільшенням обсягів інформації, міждисциплінарним рівнем знань і штучним інтелектом.

Сьогодні важко уявити людську діяльність без електрики. Тому відкриття генетичної класифікації первинних джерел електромагнітного поля [7] створило умови для постановки принципово нових системних задач, серед яких чільне місце посідають задачі передбачення, яке здійснюється на основі розшифрування і аналізу генетичних програм структуроутворення довільних функціональних класів електромеханічних систем [6].

За результатами досліджень, проведених в КПІ ім. Ігоря Сікорського механіками і електромеханіками, здійснена практична реалізація програми геномних досліджень, яка дозволила відкрити нові функціональні класи об'єктів. Це дозволило суттєво зекономити часові й матеріальні ресурси, які традиційно витрачаються на пошук нових оригінальних ідей, інноваційних проектів та технологій. Використання теорії генетичної електромеханіки

дозволило здійснювати спрямований генетичний синтез і передбачення верстатів нового покоління з їх моделюванням у вигляді структурних генетичних формул [3].

В історії діяльності Людини важливу роль зіграла механіка – наука про закони руху тіл, що має відношення до всіх явищ Природи і творінням техніки, до всіх природничих наукових дисциплін. Відкриття, здається на перший погляд, парадоксальних нових ефектів і явищ, об'єктивно існуючих в Природі, дозволяє на багато років вперед прогнозувати і навіть передбачати розвиток науки і техніки, розв'язувати найскладніші проблеми, які стоять перед людством, серед котрих енергетичні, екологічні, сировинні, інформаційні та інші. По аналогії з біологічним і електромагнітним генами в основу механічного гена на генетичному рівні, як нащадкової інформації, створеної Природою, можуть бути покладені елементарні частинки у вигляді безрозмірної матеріальної точки [3] – нерухомої для статичних ТС і рухомої під дією сили і (або) моменту для динамічних технічних систем.

Процес творчого мислення Людини, як психічний процес відображення об'єктивної реальності (вищий ступінь людського пізнання), пов'язаний з великою кількістю перешкод, оскільки проблема мислення не може мати однозначного тлумачення і охоплює широкий діапазон дій лівої і правої півкуль людського мозку від альтернативно-логічного до інтуїтивно-практичного мислення в їх взаємодії або схрещуванні, що умовно можна віднести до гібридного мислення [4].

На горизонті починає проглядатися нова промислова революція «Індустрія 5.0», яка якісно відрізняється від чотирьох попередніх розвитком людиноцентричних технологій, спрямованих на підсилення фізичних можливостей Людини, його творчого і інтелектуального потенціалу, підвищення якості, продовження життя [8, 9]. З'явилася нова концепція: **майбутнє технологій - це не технології, що заміщують Людину, а технології, що доповнюють Людину.** Індустріальні революції в майбутньому приведуть до того, що відношення людей з машинами на виробництві і в звичайному житті перейдуть на новий рівень. Поки ніхто не може стверджувати, як це відобразиться на суспільстві, в діяльності якого з'явиться «Індустрія 5.0».

#### Список посилань

1. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины //Вестник ХНТУ. – №2 (61). – 2017. – с. 67-75.
- 2.Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып. 85. – с.149-162.
- 3.Кузнецов Ю.Н. Новый взгляд на материальную точку как носителя генетической информации при создании технических систем //Материалы Международной научно-практической конференция «Фундаментальные основы механики», Новокузнецк: НИЦ МС, 2016. – №1. – с.26-40.
4. Кузнецов Ю.М. Людське мислення і штучний інтелект на прикладі синтезу затискних цангових патронів //6-я межд. науч.-практ. конф. «Информационные технологии и взаимодействия». КНУ им. Т.Г. Шевченко, 2019. – с. 236-245.
5. Кузнецов Ю., Шинкаренко В. Генетический подход – ключ к инновационному синтезу сложных технических систем. Журнал «Fundamental sciences and applications», т.16, Пловдив (Болгария), к.2, 2011. – с.15 – 33.
6. Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделя /Шинкаренко В.Ф., Кузнецов Ю.Н. //Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні технології промислового комплексу». Херсон, ХНТУ, 2015. – с.8-13.
7. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
8. <https://www.hse.ru/news/expertise/463569696.html>
9. <http://roboticstoday.ru/industriya-5-0-evolyuciya-ili-revolyuciya/>
10. <https://4esnok.by/obzory-i-rejtingi/budushhee-za-industriey-5-0-i-kommunikaciej-s-robotami/>

УДК 378.141

Дмитрієв Д.О., докт. техн. наук, доцент  
Сімінченко І.П., старший викладач  
Осадчук В.С. старший викладач,  
Островський Б.І., студент

Херсонський національний технічний університет, [dmitr\\_da@kntu.net.ua](mailto:dmitr_da@kntu.net.ua)

## РОЛЬ ЦИФРОВИХ ЕКОСИСТЕМ В РОЗРІЗІ ІНДУСТРІЇ 4.0 В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Цифрові екосистеми трансформують освіту, замінюючи застарілі ієрархічні методи на гнучкі мережеві структури. Вони стимулюють колаборативне навчання, де учні та викладачі спільно розвиваються, обмінюючись знаннями та ідеями. Такий підхід підтримує індивідуальний темп навчання та враховує особистісні особливості кожного. Цифрові платформи надають доступ до широкого спектру ресурсів, сприяючи самостійному вивченню та дослідженню. Вони відкривають двері до безмежних можливостей для навчання, роблячи процес більш інтерактивним та залучаючим. Це сприяє формуванню критичного мислення та аналітичних навичок, які є життєво важливими у сучасному цифровому світі.

Цифрові екосистеми революціонізують доступ до освітніх ресурсів, відкриваючи шлях до інноваційних методів навчання. Вони дозволяють створювати новітні цифрові продукти, які збагачують навчальний процес інтерактивним контентом. Завдяки цим екосистемам, дистанційне навчання стає не просто альтернативою, а повноцінним форматом освіти, що забезпечує гнучкість і доступність. Змішане навчання, яке поєднує онлайн та офлайн формати, допомагає студентам краще адаптуватися до різних умов навчання. Таким чином, цифрові екосистеми відіграють ключову роль у формуванні сучасного освітнього середовища. Вони також відіграють вирішальну роль у STEM-освіті, надаючи інструменти для ефективного навчання. Вони забезпечують доступ до віртуальних лабораторій, наукових баз даних та інтерактивних платформ, що дозволяє учням зануритися в практичний досвід. Цифрові ресурси сприяють розвитку критичного мислення та аналітичних здібностей, необхідних для розуміння складних наукових концепцій. Вони також стимулюють інноваційний підхід до вирішення проблем, підготовлюючи студентів до кар'єри в науці та технологіях. Таким чином, цифрові екосистеми є фундаментом для формування майбутнього наукового потенціалу.

Індустрія 4.0 – це аббревіатура четвертої промислової революції, яка передбачає впровадження ряду технологій у виробничий процес. Ці технології можуть варіюватися від передової робототехніки до адитивного виробництва [1]. Інші компоненти, включені в програму, включають доповнену реальність, симуляцію, хмарні обчислення, кібербезпеку тощо. Індустрія 4.0 спрямована на створення більш гнучких систем, де учасники обмінюються інформацією через Інтернет, що покращує ефективність праці та зменшує витрати у виробничих процесах. Ця концепція охоплює виробничий ланцюг, ланцюг постачання та ланцюжок створення вартості [2]. Індустрія 4.0 використовує кіберфізичні системи (CPS), які об'єднують різноманітні розумні компоненти через мережі, щоб оптимізувати процеси та знизити витрати. Ця інформаційно-інтенсивна трансформація виробництва поєднує цифрові технології з великими даними, даними в реальному часі та промисловими активами, створюючи більш ефективну та пов'язану екосистему [2]. Інвестиції в технології Індустрії 4.0 допомагають компаніям залишатися конкурентоспроможними та привабливими для молодих працівників

Складні інформаційні системи, відкриті для використання клієнтами і партнерами, називаються цифровими платформами. Ці платформи можуть включати системи для



управління бізнес-процесами, інтеграції IoT в фізичні бізнес-процеси, а також для аналізу та прогнозування стану обладнання.

Четверта промислова революція також може включати широке впровадження 3D-друку, друкованої електроніки, розподілених реєстрів, віртуальної та доповненої реальності, а також розробку автономних роботів. Останні не будуть лише компонентами автоматизованих ліній, але цілком мобільними високоінтелектуальними пристроями, здатними працювати поруч з людьми.

Поняття “розумна фабрика” (Smart Factory), “розумне виробництво” (Smart Manufacturing) та “фабрика майбутнього” (Factory of the Future) з’явилися нещодавно і поки не мають строго визначених значень. Вони використовуються як синоніми, але поняття “фабрика майбутнього” більш об’ємне і включає в себе не тільки “розумне виробництво”, але також віртуальні та цифрові підприємства [3].

**Цифрові екосистеми в виробництві:** Віртуальна фабрика (Virtual Factory) об’єднує цифрові та “розумні” фабрики, а також постачальників матеріалів та послуг. Ці екосистеми дозволяють розробляти та використовувати віртуальні моделі організаційних, технологічних, логістичних та інших процесів. Системи управління, такі як ERP, CRM, SCM, MES, APS, IIoT та Big Data, грають ключову роль у впровадженні цифрових екосистем.

**Моделювання віртуальної ділянки:** Використовуючи середовище “Tecnomatix Plant Simulation”, в освітньому процесі серед студентів можна створити імітаційну модель обробки деталей на верстатах. Імітація виробничого процесу дозволяє аналізувати продуктивність та виявляти можливі проблеми. Студенти можуть експериментувати з різними параметрами, проводити сценарний аналіз та оцінювати вплив змін на продуктивність та якість. Такий підхід дозволяє студентам здобути практичні навички в управлінні виробничими процесами та застосуванні цифрових технологій.

**Аналіз та оптимізація бізнес-процесів:** Цифрові екосистеми надають інструменти для збирання та аналізу даних про виробничі процеси. За допомогою алгоритмів машинного навчання та аналітики даних студенти можуть досліджувати виробничі дані, виявляти тренди та патерни, а також оптимізувати процеси для досягнення максимальної ефективності та зниження витрат.

**Використання цифрових моделей та симуляцій:** Цифрові екосистеми дозволяють створювати та використовувати віртуальні моделі та симуляції виробничих процесів. Студенти можуть проводити віртуальні експерименти, тестувати різні рішення та аналізувати їх вплив на продуктивність та якість. Такий підхід дозволяє студентам отримати практичні навички та досвід роботи з цифровими інструментами.

**Освітні ресурси та платформи:** Цифрові екосистеми надають доступ до широкого спектру освітніх ресурсів та платформ. Студенти можуть вивчати онлайн-курси, використовувати електронні підручники та матеріали, а також застосовувати віртуальні лабораторії та середовища. Такий підхід дозволяє студентам самостійно вивчати матеріали, отримувати додаткові знання та навички, а також розвивати свої інтереси та таланти.

**Колаборація та обмін знаннями:** Цифрові екосистеми стимулюють колаборативне навчання та обмін знаннями. Студенти та викладачі можуть взаємодіяти та співпрацювати в рамках цифрових платформ, обмінюватися ідеями, досвідом та знаннями. Такий підхід дозволяє стимулювати творче мислення, розвивати комунікаційні навички та навчатися у співпраці.

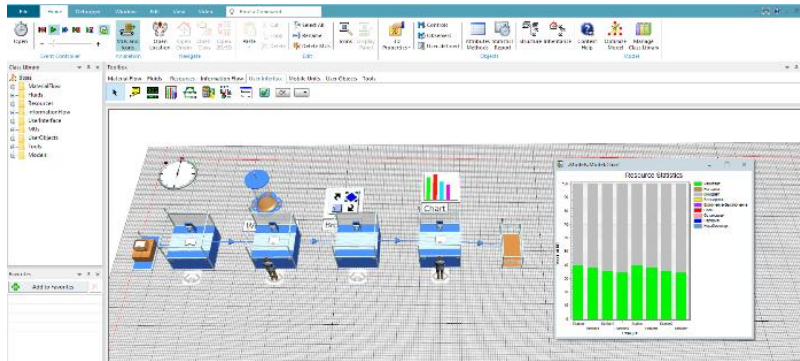


Рис.1 – Імітація виробничого процесу у Tecnomatix Plant Simulation в освітньому процесі.

Системи та технології «розумного» виробництва включають в себе CAD/CAM/CAE, що об'єднуються терміном САПР (система автоматизованого проектування) також є невід'ємною ланкою в системі освіти майбутніх інженерів та учасників еволюції виробництва у розрізі Індустрії 4.0.

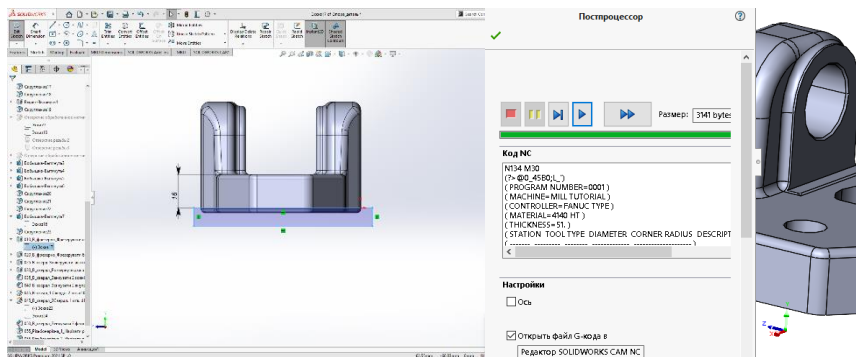


Рис.2 – Побудова моделі та генерування адаптивних програм керування для верстатів з ЧПК

Дослідження підкреслює важливість діджиталізації для України на шляху до Четвертої промислової революції. Україна має потенціал для впровадження Індустрії 4.0, але стикається з перешкодами, такими як слабка державна підтримка та відсутність чітких цифрових стратегій. Незважаючи на це, зростання інноваційної активності та успішне впровадження технологічних рішень свідчать про позитивні зміни. Важливим кроком є розробка системи оцінки цифрової готовності, яка дозволить ефективно планувати та інвестувати в майбутнє технологічного розвитку країни.

Таким чином, цифрові екосистеми відіграють важливу роль у розвитку сучасного процесу творення. Вони сприяють формуванню практичних навичок, розвитку критичного мислення та аналітичних здібностей, а також дозволяють студентам самостійно вивчати матеріали та розвиватися відповідно до індивідуальних потреб та інтересів.

### Список посилань

1. Електроний ресурс: - <https://fiberroad.com/uk/resources/new-trends/what-is-industry-4-0/>
2. Слюсаренко Н., Кохановська О. ЦИФРОВІ ЕКОСИСТЕМИ В ОСВІТІ. DOI: 10.5281/zenodo.5938748 с.37-43
3. Р. М. Лісова. ІНДУСТРІЯ 4.0 ТА ЦИФРОВА ГОТОВНІСТЬ УКРАЇНСЬКИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ. ISSN 2617-5932 Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування. 2021. Вип. 7 с.86-96

УДК 378.14:65.011

Мощенко І.О., канд.тех.наук, ст.викладач

Харківський національний університет радіоелектроніки, inna.moshchenko@nure.ua

## **DFD-МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКУ СТВОРЕННЯ ЦІННОСТІ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Діючий Закон України «Про вищу освіту» декларує принцип автономії закладів вищої освіти (ЗВО) стосовно організації освітнього процесу, внутрішнього управління, економічної та фінансової діяльності з метою забезпечення конкурентоспроможності ЗВО за рахунок підвищення якості та споживчої цінності освітніх послуг. У світі більш широких повноважень, наданих ЗВО в галузі організації освітньої, економічно-господарської та фінансової діяльності, важливим стає впровадження сучасних методів та засобів ведення бізнесу, що засновані на передових концепціях і моделях управління якістю. В умовах необхідності відродження економічного та освітнього потенціалу України під час та після виходу з режиму воєнного стану особливо актуальним стає застосування моделі управління організацією, яка передбачає безперервне підвищення споживчої цінності продукту через мінімізацію усіх видів втрат, покращення ефективності використання ресурсів та поліпшення якості, а саме, всесвітньо визнаної методології Lean Production (Ощадливе виробництво), яка в галузі вдосконалення надання освітніх послуг ЗВО відома як концепція Lean Higher Education (LHE, Ощадлива вища освіта). Технології Lean рекомендує використовувати для аналізу якості надання освітніх послуг і новий стандарт ДСТУ ISO 21001:2019 Освітні організації. Системи управління в освітніх організаціях. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 21001:2018, IDT).

LHE розглядає функціонування ЗВО як сукупність взаємопов'язаних процесів, яка має вигляд безперервного потоку освітніх послуг від замовника до споживача. Метою застосування принципів Lean є оптимізація потоку бізнес-процесів ЗВО за рахунок усунення або мінімізації всіх видів втрат, які не додають споживчої цінності освітній послугі. Тому актуальним завданням формування сучасної моделі розвитку ЗВО в Україні є розробка системи оптимізації процесів надання освітніх послуг на базі застосування інструментів Lean-менеджменту якості.

Потік створення цінності формується послідовністю виробничих та логістичних процесів створення і переміщення цінності від постачальника до споживача й синхронізований з потоком замовлень.

Інструментом візуалізації потоку створення цінності в методології Lean Production є Мапа потоку створення цінності (МПЦЦ) або англійською Value Stream Mapping (VSM) – графічне подання матеріальних та інформаційних потоків створення цінності продукту від постачальника до споживача у вигляді сукупності взаємопов'язаних процесів із зазначенням значущих параметрів. Оптимізація потоку створення цінності скерована на досягнення цільових значень показників ефективності потоку шляхом мінімізації витрат ресурсів одночасно із забезпеченням відповідності продукції вимогам споживача.

Для досягнення мети дослідження необхідно розробити комплексну модель процесу оптимізації МПЦЦ із визначенням інструментів управління якістю під час реалізації кожного функціонального блоку моделі, та надання рекомендацій щодо особливостей їх застосування з урахуванням подвійної природи результату діяльності ЗВО як продукту та послуги. Моделювання процесу оптимізації МПЦЦ здійснено за методологією структурного аналізу потоків даних DFD (Data Flow Diagrams) [1].

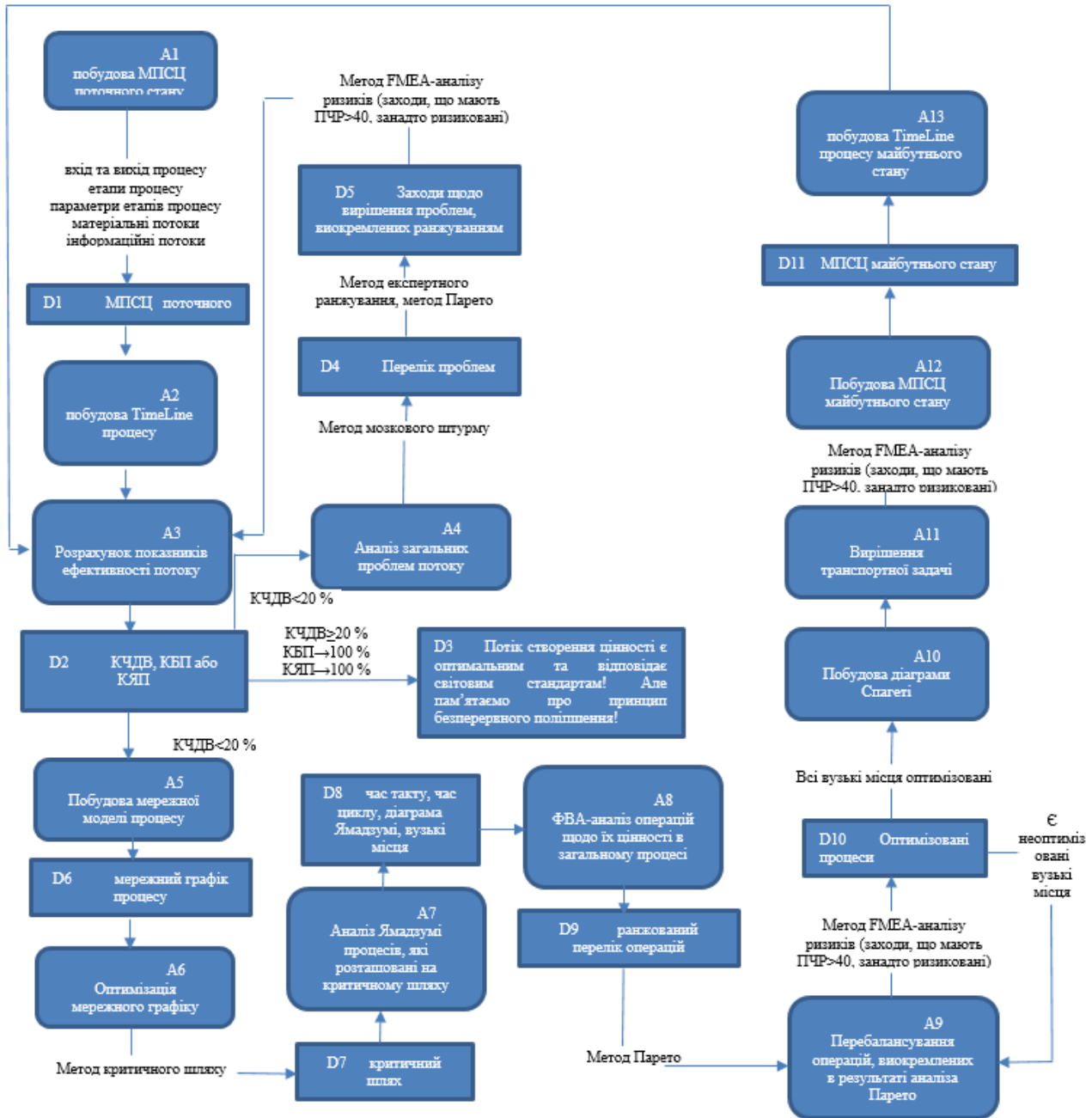


Рис. 1 – DFD-діаграма процесу оптимізації МПСЦ (розроблено автором)

Показниками ефективності потоку виступає коефіцієнт часу додавання вартості (КЧДВ), коефіцієнт бездефектності потоку (КБП), який відображає частку придатної продукції на виході до придатної продукції на вході потоку, коефіцієнт якості потоку (КЯП).

Висновки. Розроблено DFD-модель процесу оптимізації МПСЦ – інструменту управління якістю, створеного в рамках методології Lean для аналізу потоку процесів. Наведено рекомендації щодо використання інструментів управління якістю в процесі оптимізації МПСЦ. Запропонована модель оптимізації МПСЦ враховує особливості результату діяльності ЗВО, який є сукупністю освітньої послуги, освітнього та наукового продукту.

#### Список посилань

1. Moshchenko I.O, Nikitenko O.M. Value Stream Map optimization model in the field of educational services. *Збірник наукових праць ОДАТРЯ*. № 2(23). 2023. С. 6-15. DOI: 10.32684/2412-5288-2023-2-23-6-15

УДК 004.8-378

Краковецький О.Ю., канд. техн. наук  
Шевченко Н.Ю., канд. екон. наук, доцент  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя  
nataliya.shevchenko@mipolytech.education

## АНАЛІЗ ПОЛІТИК ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Використання штучного інтелекту в освіті та науковій діяльності відкриває широкі можливості для оптимізації процесів навчання, створення індивідуалізованих навчальних програм, а також дослідження та аналізу великих обсягів даних. Водночас, важливо розуміти, що результати генеративного штучного інтелекту можуть мати значний вплив на освітній процес та потребують обережного підходу до їх використання. Правила регламентації використання штучного інтелекту в освіті, а особливо в вищих навчальних закладах стають дедалі важливішими в контексті забезпечення ефективного та етичного використання цих технологій. Необхідність встановлення чітких правил впливає з потенційних ризиків порушення авторського права, конфіденційності даних. Саме тому провідні міжнародні університети приділяють багато уваги врегулюванню питань використання штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності викладачів та студентської спільноти (наприклад, [1–3]).

На ресурсі Ленса Ітона, викладача Массачусетського університету в Бостоні, США, в відкритому доступі представлений документ Syllabi Policies for Generative AI, в якому зібрана інформація про політики різних університетів щодо використання технологій генеративного штучного інтелекту. Аналізуючи цю інформацію, можна зустріти різне бачення місця штучного інтелекту в освіті: від використання без будь-яких обмежень до абсолютної заборони. З метою систематизації та категоризації підходів до використання штучного інтелекту в освіті на основі досвіду, акумульованого в документі [4], була використана наступна методологія:

1. Усі політики були розподілені за категоріями: Allowed (використання повністю дозволено), Prohibited (використання повністю заборонено), Mixed (використання частково дозволено або частково заборонено).

2. З текстів політик були виокремлені тези того, що саме дозволено, що саме заборонено, а також додаткові коментарі.

3. Усі тези були згруповані та виділені унікальні тези.

Аналіз політик проводився з використанням інструментів OpenAI API (модель gpt-4-turbo) та Azure AI Studio. Загалом було проаналізовано 112 записів (рис. 1), з яких до категорії Allowed віднесено 31 запис (27,68%), до категорії Prohibited – 26 записів (23,21%), до категорії Mixed – 55 записів (49,11%).

Систематизація результатів аналізу дозволила отримати наступні висновки щодо завдань, виконання яких дозволено або заборонено з використанням інструментів генеративного штучного інтелекту.

Зазвичай дозволено використання інструментів штучного інтелекту для мозкового штурму, генерування ідей, синтезу, перефразування, узагальнення, збору інформації, конспектування, створення тез, перевірки граматики та синтаксису, поповнення словникового запасу, написання зворотного зв'язку, візуалізації даних, підтримки стандартів доступності, пошуку наукової літератури, релевантних посилань та збору цитат. Дозволено використання інструментів штучного інтелекту у навчальному процесі та проведення досліджень за умови належного зазначення авторства. Також дозволяється використовувати результати роботи інструментів штучного інтелекту за умови використання додаткових верифікованих джерел.

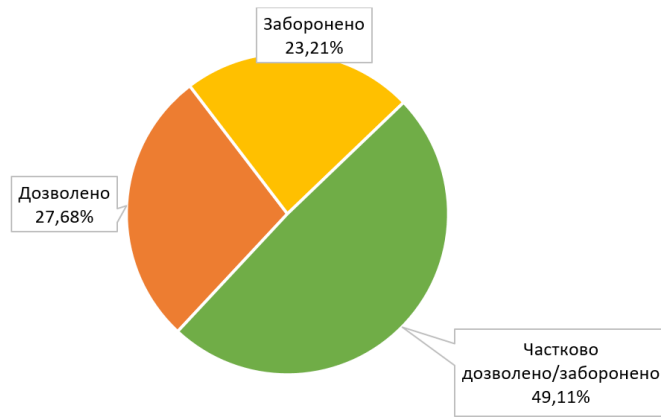


Рис. 1 – Результати категоризації політик

Зазвичай заборонено використання результатів роботи інструментів штучного інтелекту без суттєвого доопрацювання та належного цитування для написання відповідей на завдання з оцінюванням, при проходженні тестів або як суттєву частину звіту. Забороняється використовувати результати у письмових завданнях без дозволу викладача або з порушенням політики академічної доброчесності. При цьому відмічається надмірна залежність від технологій штучного інтелекту, яка перешкоджає розвитку навичок письма, нівелює результати навчання або замінює достовірні та автентичні джерела.

Для вищих навчальних закладів важливо мати певну політику щодо використання результатів генеративного штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності. Така політика має включати в себе не лише правила використання технологій, а й механізми контролю за їхнім застосуванням, механізми врегулювання конфліктних ситуацій та механізми забезпечення етичності та прозорості процесу. Аспекти, які враховують університети при створенні політик:

- студенти та викладачі повинні розуміти обмеження та потенційні упередження алгоритмів штучного інтелекту та дотримуватися відповідальних та етичних практик під час його використання;
- для уникнення порушення принципів академічної доброчесності слід належним чином цитувати та пояснювати використання інструментів штучного інтелекту;
- надмірна залежність від штучного інтелекту може перешкоджати самостійному мисленню та творчості, тому штучний інтелект слід використовувати як допоміжний інструмент;
- підхід до використання генеративних інструментів має бути гнучким і постійно переглядатися у міру розвитку інструментів штучного інтелекту і контексту;
- перед використанням інструментів штучного інтелекту у письмових завданнях студенти повинні проконсультуватися з викладачем і бути готовими аргументувати раціональність такого використання та/або отримати письмовий дозвіл від викладача та згоду від класу/групи.

Утім, деякі рекомендації є доволі загальними та не конкретними, і не пояснюють, яким саме чином забезпечити дотримання академічної доброчесності та якісний контроль.

#### Список посилань

1. Example Policy Statements for AI in Higher Education [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pressbooks.ulib.csuohio.edu/teachingandlearning/chapter/statements/>
2. Princeton University Sample Syllabi Statements [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mcgraw.princeton.edu/guidance-aichatgpt>
3. University of Massachusetts Amherst [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.umass.edu/ctl/how-do-i-consider-impact-ai-tools-chatgpt-my-courses>
4. Syllabi Polices for Generative AI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aiedusimplified.substack.com/>

УДК 338:242

**Попик О.В., канд. екон. наук, науковий співробітник**  
ДУ «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАНУ», м. Одеса  
[o.v.popik@gmail.com](mailto:o.v.popik@gmail.com)

## **ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ДІЯЛЬНІСТЬ ЕКО-ІНДУСТРАЛЬНИХ ПАРКІВ**

Еко-індустріальні парки (ЕІП) можуть визначатися як об'єднання декількох суб'єктів господарювання, що реалізують спільну економічну діяльність вздовж одного (чи кількох) ланцюгів створення цінності та в певних просторових межах, на принципах сталості, колаборації, прозорості та екосистемності із дотриманням високих якісних стандартів в сфері природокористування. Загальний процес управління якістю щодо діяльності ЕІП полягає у реалізації релевантних систем управління якістю та подальшій сертифікації суб'єктів господарювання ЕІП з метою забезпечення сталості параметрів процесів, гарантування якості основних та супутніх продуктів в єдиному ланцюзі створення цінності.

В умовах стійкого тренду до дематеріалізації економіки очевидними є й релевантні зміни щодо місця, ролі та функціоналу ЕІП. Зокрема «індустріальна» складова в діяльності ЕІП, що на етапі організації займає провідне місце та є ядром економічної активності залучених суб'єктів господарювання, із зміною пріоритетів та загальної парадигми «зеленого» зростання може бути поступово зміщена до супутньої діяльності, а на фінальній стадії «зеленої» трансформації відбувається переорієнтація існуючої бізнес-моделі ЕІП. В такому випадку циркулюючими ресурсами виступають не матерія та енергія, а інформація, чи семантичний капітал. Прикладом такої інтеграції у форматі нової моделі ЕІП можуть бути декілька ІТ компаній, що просторово розташовані в межах однієї локації та задіяні у спільному проекті щодо створення цифрового продукту. В цьому сенсі управління якістю відіграє роль каталізатора змін, що забезпечує необхідне підґрунтя подальших системних трансформацій основних та супутніх процесів в діяльності ЕІП. Для сучасних ЕІП, орієнтованих на виробництво нематеріальних продуктів, сертифікація систем управління якістю може сприяти як внутрішній оптимізації процесів, завдяки їх опису, картуванню та моніторингу у форматі внутрішніх/зовнішніх аудитів, так і розширенню ринків збуту, завдяки наявній певній безумовній довірі к організаціям, що сертифіковані, тобто визнані незалежними органами оцінки. Універсальність принципів та підходів управління якістю, може сприяти їхній широкій імплементації до всіх організацій, при цьому критерії управління системами якості також можуть бути застосовні до будь-якої компанії і в усіх аспектах управління ними.

В умовах невизначеності та турбулентності, які нажалі стали звичними для українського суспільства за останні п'ять років, доцільним є пошук альтернативних управлінських практик та нових підходів, що здатні сприяти певній нормалізації та усталеності процесів. Завдяки наявним стандартизованим інструментам та підходам концепту управління якістю, запровадження систем управління якістю в діяльність ЕІП може сприяти відновленню української економіки в післявоєнний період, завдяки стрімкому розвитку певних галузей, що локалізовані в певних просторових межах (оптимізація логістичних ланцюгів), та мінімізації негативних екологічних ефектів (циркуляція вторинних ресурсів). Таким чином провідна роль систем управління якістю в діяльності ЕІП полягає в сприянні ефективної організації та налагодженні внутрішніх процесів, а також підтримці встановлених параметрів якості щодо продукту ЕІП.

УДК 378.1

**Кабаков Ю.Б., канд. техн. наук, директор**  
Орган сертифікації персоналу Української асоціації якості, м. Київ, [ykabakov@i.ua](mailto:ykabakov@i.ua)  
**Онофрейчук Н. В., канд. техн. наук, викладач**  
ВСП «Одеський фаховий коледж комп'ютерних технологій» ОДЕКУ,  
[leonid.onofreychuck@gmail.com](mailto:leonid.onofreychuck@gmail.com)

## **ЯКІСНА СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТУ – ОСНОВА УСПІШНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ**

Для забезпечення якості роботи, та, в цілому, підвищення конкурентоспроможності будь якої організації недостатньо наявності якісного обладнання і технологій, а також достатньої кількості грошей на її банківському рахунку. Так само для успішного функціонування людського організму недостатньо наявності кісток, м'язів, серця, печінки, інших внутрішніх органів. Без правильно діючого мозку, який управляє всіма цими органами, успішне функціонування людини неможливо.

Для організації роль мозку відіграє система її менеджменту. Тому для її успішного функціонування потрібна досконала система менеджменту, яка дає можливість стабільно досягати цілей, що ставить перед собою організація. Міжнародна організація з стандартизації ISO розробила ряд стандартів з системного менеджменту, які сприяють досягненню таких цілей. Так, якщо система менеджменту організації реально відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 9001:2015, це дає їй здатність постійно надавати продукцію та послуги, які задовольняють вимоги замовника та застосовні законодавчі й регламентувальні вимоги. Це є основною метою створення та функціонування будь-якої організації незалежно від галузі, форми власності, розміру і т.п.

Корисність стандартів ISO в сфері системного менеджменту, зокрема ISO 9001[1] очевидна. Однак на сьогодні багато організацій мають сертифіковані системи менеджменту за одним чи декількома стандартами ISO, але далеко не всі вони реально досягають своїх цілей. Справа у тому, що системи менеджменту дають очікуваний ефект тоді, коли для організації основна мета створення подібних систем - це стабільне досягнення цілей, а не отримання сертифікату. Для побудови, підтримки та постійного вдосконалення систем менеджменту, які не просто відповідають вимогам стандартів, а реально дозволяють організаціям досягати своїх цілей, потрібні спеціалісти з глибокими знаннями та досвідом в цій сфері. Це стосується як рядового персоналу, так, перш за все, і вищого керівництва.

У справі підвищення кваліфікації спеціалістів в усіх галузях, і, зокрема, у сфері системного менеджменту, велику роль відіграє якісна освіта. Тому треба піднімати якість роботи освітніх організацій всіх рівнів. У цьому може допомогти вдосконалення систем менеджменту освітніх організацій з використанням вимог міжнародного стандарту ISO 21001 [2]. У цьому стандарті описано загальний спосіб управління в організаціях (від дитячих садочків до університетів), які надають освітні продукти та послуги, здатні задовольняти вимоги учнів та інших зацікавлених сторін. Стандарт ISO 21001 узгоджений зі стандартом ISO 9001, але він, у певному сенсі, є більш «широким» та «глибоким». Він «глибше», ніж ISO 9001, тому що в ньому, окрім загальних вимог до систем менеджменту якості організацій, є специфічні вимоги до системи менеджменту якості саме освітніх організацій. Він «ширше», ніж ISO 9001, тому що в ньому даються вимоги не лише до системи менеджменту ЯКОСТІ, а й до ЗАГАЛЬНОЇ системи менеджменту освітньої організації.

Ми вже наголошували, що для підвищення конкурентоздатності організацій всіх рівнів необхідно налагодити широке навчання у сфері системного менеджменту. Для об'єктивної оцінки результатів такого навчання може слугувати сертифікація персоналу незалежним акредитованим органом сертифікації. На сьогодні у деяких університетах України в рамках курсів з менеджменту вивчають системи менеджменту якості (СМЯ), які відповідають вимогам стандарту ISO 9001. Але для результативного і ефективного функціонування СМЯ



необхідно, щоби ВЕСЬ персонал організації розумів і виконував вимоги до неї. Тому відповідне навчання слід починати якомога раніше, з школи або з коледжів.

Найбільш дієвим способом такого навчання є введення в закладах профтехосвіти та фахової передвищої освіти предмету з управління якістю. З 2018 року таку дисципліну, як вибіркову, почали читати в одеських коледжах технічного спрямування: ВСП «Одеський технічний фаховий коледж» ОНАХТ, ВСП «Одеський фаховий коледж промислової автоматики та інформаційних технологій» ОНАХТ, ВСП «Одеський фаховий коледж комп'ютерних технологій» ОДЕКУ та ін.

Дисципліна «Управління якістю» внесена в останню редакцію «Типової освітньо-професійної програми «Технологія обробки матеріалів на верстатах і автоматичних лініях» освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра за спеціальністю: 133 «Галузеве машинобудування» галузь знань: 13 «Механічна інженерія». На жаль, поки – що, як вибіркова, хоча враховуючи її значення для суспільства, вона має бути одною з основних на всіх ступенях освіти. І не тільки для спеціальності «Галузеве машинобудування», а і для всіх інших спеціальностей, бо СМЯ може бути впроваджена і приносити користь для організацій будь-якої галузі, будь-якого розміру, як приватної, так і державної, включаючи органи державного управління та місцевого самоврядування.

Затверджена програма дисципліни включає наступні питання:

- що таке якість продукції, як правильно встановити (оцінити) її рівень, для чого це потрібно;
- хто такі гуру якості, їх вклад в економічні досягнення розвинених країн;
- застосування статистичних методів для контролю якості продукції і якості процесів її виготовлення (знання підтверджуються практичними роботами);
- роль стандартизації в забезпеченні якості продукції, технічне регулювання, як засіб підтвердження якості та безпечності продукції, створення можливості виходу на міжнародні ринки збуту;
- правові форми забезпечення якості продукції, захист прав споживачів;
- що таке система управління якістю, яка відповідає вимогам ISO 9001:2015. Зміст розділів стандарту розглянуто на прикладах процесів машинобудівного підприємства;
- що таке самооцінка підприємства, бенчмаркінг, модель досконалості EFQM;
- що таке ощадливе, швидкореагуюче та активне виробництво, підходи в їх організації;
- що таке філософія кайдзен, канбан, «5 чому?», гемба;
- правила 5S, як вони реалізуються на робочих місцях верстатів основних застосовних типів.

При викладанні дисципліни в якості основного інформаційного джерела використовується підручник Надії Онофрейчук та Юрія Кабакова «Основи управління якістю на машинобудівному підприємстві» [3], у якому докладно висвітлені всі вищезгадані питання. Підручник може використовуватися і при навчанні студентів ВНЗ.

Велике значення має також розповсюдження знань з управління якістю в суспільстві. Всі мають опікуватись тим, щоб не тільки купувати, а й виробляти якісні речі. З цією метою в Одесі під егідою громадської організації «Якість – наше майбутнє» між технічними коледжами проводяться публічні брей-ринги «Наше майбутнє – висока якість та новітні технології», інформація про які подається в місцеві ЗМІ.

#### Список посилань

1. ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.
2. ISO 21001:2018 Освітні організації. Системи управління в освітніх організаціях. Вимоги та настанови щодо застосування.
3. Онофрейчук Н.В. Основи управління якістю на машинобудівному підприємстві: підручник. / Н.В. Онофрейчук, Ю.Б. Кабаков. – Київ, Ліра-К, 2023. – 198 с.

УДК 65.005

Савенко В.І., докт. техн. наук, професор  
Клюєва В.В., старший викладач  
Нестеренко І.С., канд. техн. наук, доцент  
Владимиров О.В., аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, vvk27@ukr.net

## ВАЖЛИВІ ФАКТОРИ ДЛЯ РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

В умовах стохастичної та невизначеної ситуації, складного впливу внутрішніх та зовнішніх факторів для виробничої організації важливо мати компетентне, високоморальне керівництво, здатне правильно оцінювати ситуацію, створювати синергетичну взаємодію між формальними та неформальними організаційними структурами, формувати геном ділової досконалості в організації та приймати правильні рішення. Тільки так можна досягти реальних та постійних успіхів у розвитку організації.

Метою діяльності будь-якого підприємства є отримання цінного продукту чи послуги, а також прибутку не тільки для телеономічного існування, але й для розвитку. Прибуток – це дуже важливий ресурс. Для цього використовується економічний потенціал підприємства та реалізується відповідний стратегічний план. Для досягнення поставлених цілей підприємства працюють над створенням конкурентоспроможного продукту, якість і ціна якого відповідають вимогам споживачів, при цьому є важливими низька собівартість і короткі терміни виготовлення. Питання якості з кожним роком стають все більш актуальними. Разом з тим організаційні структури підприємств-виробників і підходи до організації виробництва мають свої відмінності, оскільки існують різні суспільні системи, способи виробництва і виробничі відносини. Отже, для окремого підприємства як первинної клітини організму будь-якої економічної системи необхідно абстрагуватися від стану макро- та мезотаргетування, а також враховувати чинники внутрішнього середовища, основними складовими якого є маркетинг, виробництво, фінанси, персонал, дослідження та розробки. Наявність такого фактора чи явища, як-от непередбачені обставини, накладає обмеження на вибір альтернатив і можливість точного прогнозування та планування. Це впливає з відносною, але незаперечною обмеженістю знань про організаційні структури та організаційні процеси, не існує абсолютного знання про що-небудь через мінливість природи і світу. Ціль і результат ніколи не співпадають абсолютно точно [1]. Природне бажання пізнання навколишнього світу й досягнення найвищого рівня досконалості, але без обмежень, є процесом нескінченним. Отже, ізоморфізм структури будівельної організації є закономірним явищем, яке знайшло теоретичне обґрунтування в роботах В. І. Савенка та С. І. Доценка [2]. Доведено, що модель збалансованої системи показників є цілком теоретичним обґрунтуванням її структури на основі бінарних відношень у вигляді діалектичної єдності категорій «загального» і «одиничного» та причинно-наслідкових зв'язків і є практичним прикладом моделі знання про предметну область на основі центральних законів інтегративної діяльності мозку [3]. Принцип діалектичного зв'язку категорій у формі «загальне» – «одиничне» без усвідомлення наявності такого типу зв'язку та їх ролі у досліджуваних моделях не працює. При цьому визначальними внутрішніми факторами є:

- 1) персонал (власники, керівники та виконавці);
- 2) інфраструктура, машини, механізми та інструменти;
- 3) ресурси (фінансові, матеріальні, енергетичні, інформаційні, інтелектуальні та ін.);
- 4) використовувані методи, технології, інновації [4].

Зовнішніми факторами є: міжнародні відносини, фінансові ринки, макроекономіка у світі, місцеве самоврядування, населення, локальні регіональні ринки, найближче оточення, конкуренти та партнери. споживачі, клімат і погода, демографія, промислові ринки,

держава, макроекономіка в державі, духовна та ділова культура. Всі ці фактори, внутрішні і зовнішні, безумовно, впливають і визначають розвиток будь-якої організації [4].

Організації, очолювані лідерами (власниками, менеджерами, виконавцями), які утворюють гени (традиції) високої духовної та ділової культури, розробляють синергетичні керовані дії та формують підсистеми управління, формальну та неформальну організаційну структуру організації з обов'язковою підтримкою держави, правильно оцінюють і вчасно враховують внутрішні і зовнішні фактори, приречені на успіх [5]. На сучасному етапі, з досвіду попередніх років, успіх можливий лише за державної підтримки у вигляді створення сприятливих умов для діяльності організацій. Першим кроком до досягнення телеономічного рівня виживання є приведення діяльності організації у відповідність міжнародним стандартам серії ISO 9001, тобто рівню 250 – 300 балів за 1000-бальною шкалою EFQM. Другий крок – впровадження моделі досконалості TQM або EFQM, яка дозволяє вийти на рівень 450 – 500 балів за шкалою EFQM, навіть і більше, але це можливо за серйозної наукової та інноваційної підтримки. Без науки та інновацій неможливо стати лідером. Впровадження навіть найдосконаліших моделей – це є слідування за лідером. Абсолютно нові шляхи розвитку – це шляхи наукових відкриттів і винаходів [6]. Майбутня лідируюча позиція будь-якої компанії, в тому числі і будівельної, визначається здатністю керівників і всього персоналу освоювати високотехнологічні інновації, генерувати і швидко впроваджувати свої винаходи і відкриття.

#### Список посилань

1. Савенко В. І. Ентропія як прояв системної і діалектичної сутності будівельної організації [Текст] / В. І. Савенко, С. П. Пальчик, В. В. Ключова, С. С. Победа // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 36. – С. 142 – 147.
2. Доценко С. І. Теоретичне обґрунтування дидактичної багатовимірної технології моделювання знань [Текст] / С. І. Доценко, В. І. Савенко // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2017. – № 1. – С. 43 – 47.
3. Савенко В. І. Генетичний підхід до ділової досконалості та ізоморфізм структури будівельної організації / В. І. Савенко, В. В. Ключова, С. П. Пальчик // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2018): матеріали тез доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 10 – 12 травня 2018 р.): у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – Т. 2. – С. 102 – 104.
4. Савенко В. І. Оптимальні методи управлінської діяльності в будівельній організації комбінатного типу [Текст] / В. І. Савенко, С. І. Доценко, В. В. Ключова, С. П. Пальчик, М. О. Терещук // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 35. – С. 147 – 154.
5. Савенко В. І. Концептуальні засади ефективного розвитку будівельної організації на базі раціонального управління [Текст] / В. І. Савенко, С. І. Доценко, В. В. Ключова, С. П. Пальчик // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 33. – С. 185 – 189.
6. Доценко С. І. Інтелектуальні інформаційні технології у прийнятті ефективних рішень в управлінні підприємством [Текст] / С. І. Доценко, В. І. Савенко, С. О. Базиленко, В. В. Ключова, С. П. Пальчик, Д. Я. Гігнейшвілі // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 34. – С. 161 – 169.

УДК 37.0+378

**Молчанов В.Ф., канд. техн. наук, доцент**

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, v\_molchanov@ukr.net

#### ОСНОВНІ УМОВИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТИ

Існуюча система освіти, її різноманітні ланки являють собою надзвичайно суперечливу картину, в якій позитивні зрушення ще досить часто прикриваються негативними або невизначеними тенденціями.

Як і раніше гостро стоїть питання про концепцію освіти, її подальше функціонування. Одним із її варіантів є так звана «базова школа», де ставка робиться на зміст освіти, на активні способи введення юної особи в світ як єдине ціле. Ось чому наріжним каменем є не окремі шкільні предмети, не кількість годин на ту чи іншу дисципліну і навіть не обсяг інформації, а пошук нових способів організації освіти, при яких би у свідомості особистості виробилось як можна більше прямих, особистісних зв'язків із світоглядом, саме в цьому справжнє багатство, цілісність і єдність особистості, запорука її справжньої свободи. І навпаки, аби управляти людиною, маніпулювати нею, необхідно розчленувати цю єдність, розірвати її і протиставити особисте - суспільному, політичне - духовному, професійне - людському.

Трудове навчання і виховання молоді - суттєвий фактор формування її соціальної і професійної орієнтації. Соціальна орієнтація - це визначення людиною свого місця в системі суспільних відносин, вибір бажаного соціального становища і шляхів його досягнення. Професійна орієнтація є усвідомленням того «набору» професій, який пропонує в даний час суспільство, і вибір найбільш привабливих із них. Соціальна орієнтація взаємодіє з професійною, хоча одна і друга не тотожні. Вони взаємопов'язані настільки, наскільки соціальне становище людини в суспільстві визначається характером і змістом її праці.

Одна із функцій освіти - стимулювання самоосвіти, самопідготовки, постійної праги знань. Самоосвіта, самостійне здобуття знань і навиків, звичайно, аж ніяк не вичерпуються шкільною системою. Безумовно школа може й повинна давати людині навички самостійної роботи з книгою, документом і т. п. Та самоосвіта будується на основі загальної і професійної освіти, а не взамін їй. Нові технічні та інформаційні можливості навчального телебачення, мультимедійної відеотехніки, персональних комп'ютерів, цифрової комунікації мають бути широко використані для потреб самоосвіти. Разом з тим використання інформаційної техніки нових поколінь все більше буде визначатись загальною культурою людини - розвитком логічного мислення, мовною, математичною, комп'ютерною грамотністю. Однак справа не лише в тому. В рамках систематичної освіти забезпечується поєднання навчання з виробничою працею. Завдяки цьому не лише здобуваються трудові навички, звичка до праці, відкриваються можливості застосування в трудовій діяльності знань основ наук, а й усвідомлюється суспільна значимість праці.

В умовах науково-технічного прогресу зростає роль безпосередньої участі старшокласників, учнів профтехучилищ, ліцеїв, коледжів, технікумів, студентів у вирішенні конкретних науково-виробничих завдань. В середніх спеціальних та закладах вищої освіти розвивається науково-технічна творчість молоді, участь студентів в науково-дослідницькій і проектно-конструкторській роботі, у виконанні господарських договорів з підприємствами.

Останнім часом громадськість спільно з працівниками освіти жваво обговорюють можливості і перспективи ринкових відносин, організацій шкільних кооперативів. І не стільки заради зміцнення матеріальної і фінансової бази, скільки задля швидкого входження юної особистості в реальне життя, в повсякденні турботи старшого покоління.

УДК 004.9-005.7:658.5

**Макренко Р.О., аспірант**  
**Руденко Д.В., аспірант**

Сумський державний університет, [d.rudenko@cs.sumdu.edu.ua](mailto:d.rudenko@cs.sumdu.edu.ua)

## **ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СОЦІАЛІЗАЦІЇ ТА КОМУНІКАЦІЇ ЗА УМОВ ВІДДАЛЕНОЇ ПРАЦІ**

Події останнього десятиліття сприяли тому, що відбулось помітне зростання тенденцій до використання віддалених форм праці, чому помітно сприяв розвиток інформаційних технологій, а також трансформація у культурі праці. Ці процеси вимагають управління, що

дає змогу керівництву приймати обґрунтовані рішення та здійснювати вдосконалення робочих процесів. Тож, враховуючи зростаючу роль та значення віддаленої праці за сучасних умов, актуальною задачею є розробка методу оцінки функціональної ефективності процесів соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці на основі машинного навчання. Перш, ніж переходити до розробки методу оцінки функціональної ефективності процесів соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці, окреслимо загальноприйняті поняття та терміни.

Під інформаційними технологіями розуміють сукупність методів, засобів і прийомів, які люди використовують для здійснення складного конкретного процесу через поділ його на систему послідовних взаємопов'язаних процедур та операцій, виконання яких є більш або менш однозначним, та які мають на меті досягнення високої ефективності в пошуку, опрацюванні, накопиченні, зберіганні, передаванні, поданні даних з використанням засобів обчислювальної техніки та зв'язку, а також засобів поєднання останніх раціональним шляхом із процесами опрацювання даних без використання машин.

Що стосується оцінки функціональної ефективності, то її зазвичай здійснюють у двох аспектах:

1. Оцінка складових функціональної ефективності, у першу чергу, таких як точність та оперативність управлінських рішень, що приймаються;

2. Оцінка алгоритму функціонування, що забезпечує отримання необхідного результату.

Соціалізація – це своєрідний спосіб збереження та відтворення організаційної культури, який дає змогу сформувати правильну з точки зору існуючої організаційної культури взаємодію працівника та організації, при чому прояв ефективності дії цінностей та норм цієї організаційної культури відбувається у тому, що для індивіда стає бажаним дотримання цих норм та цінностей, воно стає певною базою для його успішної кар'єри в організації, однак не дає гарантій цього.

Під комунікацією розуміється обмін та спільне використання знань між працівниками.

Основна ідея полягає в покращенні процесів соціалізації співпрацівників використовуючи додатки до наявних програм корпоративної переписки/спілкування або при неможливості написання додатку створення/використання нового програмного забезпечення із симуляцією присутності співпрацівників у віртуальній кімнаті.

Якщо ж говорити про поняття інформаційної технології оцінки функціональної ефективності процесів соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці, то визначення цього поняття відсутнє в науковій літературі. Вважаємо, що під інформаційною технологією оцінки функціональної ефективності процесів соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці слід розуміти таку інформаційну технологію, що спрямовується на оцінку результативності та алгоритмів запровадження процесів соціалізації та комунікації в робочих колективах за умов віддаленої праці. Таким чином, задача зводиться до створення автоматизованої системи керування соціально-комунікаційним процесом за умов віддаленої праці. Основним перспективним шляхом створення такої системи є застосування інтелектуальних технологій аналізу даних на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

Водночас центральним питанням постає вибір критерію функціональної ефективності соціально-комунікаційних процесів за умов віддаленої праці. На наш погляд такий критерій за конструкцією може бути схожий на відомий узагальнений функціонально-вартісний критерій І. В. Кузьміна [1], який представимо у вигляді

$$E = K_K K_C \quad (1)$$

де  $K_K$  – критерій успішності комунікації;  $K_C$  – критерій успішності соціалізації.

У виразі (1) критерій  $K_K$  має інформаційну природу і дорівнює

$$K_K = \frac{I}{I_{\max}} = \frac{H(\gamma) - H(\mu/\gamma)}{H(\gamma)}$$

де  $I$  – кількість умовної інформації, що надходить, обробляється, зберігається та передається робочою групою;  $I_{\max}$  – максимальна можлива кількість умовної інформації;

$$H(\gamma) = -\sum_{l=1}^M p(\gamma_l) \log_2 p(\gamma_l)$$

апостеріорна (безумовна) ентропія, що існує до початку виробничого процесу;

$$H(\mu/\gamma) = -\sum_{l=1}^M \sum_{m=1}^M p(\gamma_l) p(\mu_m/\gamma_l) \log_2 p(\mu_m/\gamma_l)$$

апостеріорна (умовна) ентропія, що характеризує залишкову невизначеність після прийняття управлінського рішення;  $p(\gamma)$  – безумовна ймовірність прийняття гіпотези  $\gamma_l$ ;  $p(\mu_m/\gamma_l)$  – апостеріорна ймовірність прийняття рішення  $\mu_m$  за умови, що прийнята гіпотеза  $\gamma_l$ .

Критерій успішності соціалізації визначається за результатами опитування працівників робочої групи за відповідною шкалою оцінювання і може бути представлений у вигляді відношення

$$K_C = \frac{C}{C_{\max}},$$

де  $C$  – поточний показник соціалізації;

$C_{\max}$  – максимальний показник соціалізації.

Таким чином, узагальнений критерій (1) може використовуватися для оптимізації параметрів машинного навчання автоматизованої системи керування процесами соціалізації та комунікації за умов віддаленої праці.

#### Список посилань

1. Кузьмін І. В. Основи теорії інформації та кодування: підручник / І. В. Кузьмін, І. В. Троцишин, А. І. Кузьміна; за ред. І. В. Кузьміна. – Вид. 3-тє, переробл. та допов. – Хмельницький: ХНУ, 2009. – 373 с.

УДК 351

**Кравченко А.О., студент**  
**Денисова Н. М., канд. техн. наук, доцент**  
Національний університет «Чернігівська політехніка»

### МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: НАЙКРАЩІ ПРАКТИКИ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

У сучасному світі забезпечення цивільного захисту та охорони праці набуває особливої важливості в умовах глобальних викликів і кризових ситуацій. Міжнародний досвід у цій сфері пропонує цінні уроки та кращі практики, які можуть бути адаптовані до українських реалій. Дослідження та впровадження цих практик допоможуть підвищити ефективність національної системи цивільного захисту, зменшити ризики та забезпечити безпеку працівників і населення. У цьому контексті особливо важливо розглянути досягнення інших країн та визначити можливі виклики для України.

- 1. Важливість адаптації міжнародних стандартів у сфері цивільного захисту та охорони праці для України:** Адаптація міжнародних стандартів у сфері цивільного захисту та охорони праці є ключовим аспектом для підвищення рівня безпеки в Україні. За кордоном існують перевірені практики, такі як стандарти ISO 45001 для управління безпекою праці та OHSAS 18001. Їх впровадження в українську систему дозволить стандартизувати процедури, зменшити кількість нещасних випадків на виробництві та підвищити загальну культуру безпеки. Важливо провести детальний аналіз відповідності міжнародних стандартів українським реаліям та розробити план їх поступової інтеграції [1,2].
- 2. Ефективність міжнародного співробітництва у реагуванні на надзвичайні ситуації:** Міжнародне співробітництво відіграє важливу роль у швидкому та ефективному реагуванні на надзвичайні ситуації. Досвід країн, які успішно борються з природними та техногенними катастрофами, може бути надзвичайно корисним для України. Наприклад, міжнародні організації, такі як Міжнародна федерація товариств Червоного Хреста та Червоного Півмісяця, мають багаторічний досвід координації допомоги під час криз. Співпраця з ними може забезпечити доступ до ресурсів, навчання та технологій, що суттєво підвищить готовність України до реагування на надзвичайні ситуації [3].
- 3. Інноваційні підходи до цивільного захисту та охорони праці: виклики та можливості:** Інноваційні підходи, такі як використання дронів для моніторингу небезпечних зон, системи доповненої реальності для навчання працівників та автоматизовані системи контролю безпеки, успішно впроваджуються в багатьох країнах. Для України важливо розглянути можливості інтеграції цих технологій у національну систему цивільного захисту та охорони праці. Виклики, пов'язані з високими витратами на впровадження та навчання персоналу, можуть бути подолані за допомогою міжнародного співробітництва та фінансової підтримки від міжнародних організацій [4].
- 4. Культурні та інституційні аспекти безпеки праці:** Культурні та інституційні аспекти мають значний вплив на ефективність заходів безпеки праці. Наприклад, у країнах з високим рівнем свідомості безпеки, таких як Швеція чи Німеччина, показники травматизму на виробництві значно нижчі. Для України важливо вивчити ці підходи та впровадити їх у своїх підприємствах. Це може включати розробку програм навчання, що враховують культурні особливості, та створення стимулів для підприємств, які активно впроваджують заходи з підвищення безпеки праці [5].
- 5. Виклики та стратегії управління ризиками у галузі цивільного захисту:** Аналіз найактуальніших викликів, з якими стикаються країни у галузі цивільного захисту, таких як кліматичні зміни, терористичні загрози та техногенні аварії, є критично важливим для України. Розробка ефективних стратегій управління ризиками може включати створення національних та регіональних центрів управління кризовими ситуаціями, вдосконалення системи оповіщення населення та регулярне проведення навчань з моделювання надзвичайних ситуацій [6].
- 6. Впровадження міжнародних стандартів безпеки праці: досягнення та перешкоди:** Впровадження міжнародних стандартів, таких як ISO 45001, вимагає значних зусиль та ресурсів. Україна може навчитися у країн, які вже успішно інтегрували ці стандарти, таких як Великобританія та Канада. Основні перешкоди включають недостатнє фінансування та опір змінам з боку підприємств. Проте, створення чіткої дорожньої карти з впровадження стандартів, надання підтримки підприємствам та стимулювання їх до впровадження нових підходів може значно полегшити цей процес [7].

7. **Роль громадськості та громадських організацій у цивільному захисті:** Громадськість та громадські організації відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки громадян. Вони можуть активно брати участь у навчанні населення, проведенні інформаційних кампаній та моніторингу дотримання норм безпеки. Для України важливо розвивати партнерства з громадськими організаціями та залучати їх до процесу прийняття рішень у сфері цивільного захисту. Це допоможе підвищити рівень обізнаності та готовності населення до надзвичайних ситуацій [8].

#### Список посилань

1. [ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування \(ISO 45001:2018, IDT\) \(budstandart.com\)](http://budstandart.com)
2. [OHSAS 18001: A Health & Safety Standard | SafetyCulture](http://SafetyCulture)
3. [Зміцнення потенціалу кризового управління та реагування на надзвичайні ситуації на всіх рівнях органів державної влади в Україні | United Nations Development Programme \(undp.org\)](http://undp.org)
4. [Як Доповнена Реальність Впливає на Навчальний Процес | AR технологія \(arbook.info\)](http://arbook.info)
5. [Occupational injuries - Skogsstyrelsen](http://Skogsstyrelsen)
6. [Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях \(dsns.gov.ua\)](http://dsns.gov.ua)
7. [Глибше розуміння міжнародних та європейських стандартів праці та найкращих практик | International Labour Organization \(ilo.org\)](http://ilo.org)
8. [6.1. Співпраця органів державної влади з неурядовими організаціями як необхідна умова зміцнення демократичних засад політики й державного управління - e-Pidruchniki.com](http://Pidruchniki.com)

УДК 629.73 :378

Якименко С.М.

Ільїна О.В., канд. юрид. наук

Чередніков О.М., канд. техн. наук, доцент

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна

Юрченко М.Е., канд. фіз. - мат. наук, доцент

Клайпедський університет, м.Клайпеда, Литва

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНИХ КАДРІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

Професійна діяльність пілотів цивільної авіації і військових льотчиків включає в себе багато схожих аспектів, таких як навички керування літаком, знання безпеки польотів, розуміння навігаційних процедур і технічної експлуатації повітряних суден. Однак, існують і різноманітні розбіжності між цими двома категоріями пілотів.

Керівні документи відповідних міністерств та відомств визначають, що цивільна авіація задовольняє потреби держави і громадян у повітряних перевезеннях і авіаційних роботах та виконанні польотів у приватних цілях, державна авіація використовує повітряні судна з метою забезпечення національної безпеки і оборони держави та захисту населення, які покладаються на Збройні Сили України, інші військові формування, утворені відповідно до законів України, Міністерство внутрішніх справ України, Національну поліцію України, Службу безпеки України. Зокрема в сучасних публікаціях, актуалізовано питання формування необхідних професійно важливих якостей і фахових компетентностей.

В доповіді проаналізовано закордонний досвід підготовки авіаторів, наголошено на важливості формування у майбутніх фахівців авіаційної галузі вмінь рефлексії у контексті формування індивідуального стилю навчально-професійної діяльності курсантів/студентів,



підкреслено важливість формування у майбутніх авіафахівців навичок професійної взаємодії та професійної комунікації [1, 2].

Для військових льотчиків головною метою професійної діяльності є виконання бойового завдання: знищення повітряних цілей; підтримка бойових дій сил наземних операцій; перевезення та десантування озброєння та особового складу. Зазвичай, військові льотчики під час практичної підготовки отримують тренування з маневрування, навігації та бойового застосування засобів ураження в екстремальних умовах максимально наближених до бойових, виконання складних бойових маневрів, а також освоюють тактику та стратегію ведення повітряних боїв.

Для цивільних пілотів, екіпажі яких складаються з льотного екіпажу та екіпажу який працює в салоні чи вантажному відсіку увага зорієнтована, в першу чергу на: забезпечення безпеки польотів та збереження людських життів, вантажів і потребує чіткого керівництва та взаємодії в багаточисельному екіпажі при виконанні завдань застосування цивільної авіації, таких як: пасажирські та вантажні перевезення; забезпечення господарської діяльності; пошуково - рятувальні операції та інше.

Підготовка для військових льотчиків піддається інтенсивному тренуванню, включаючи симуляції повітряних боїв та ситуацій з високим рівнем стресу і потребують високої психологічної стійкості до перенавантажень та екстремальних режимів пілотування. В одномісному літаку формується психологія «одинокки», який може розраховувати лише на власні ресурси. У багатомісних літаках взаємодія здійснюється за командно-адміністративним принципом: команди старшого виконуються без обговорення.

Отже, хоча існують певні подібності у професійній діяльності цивільних пілотів і військових льотчиків, все ж є значні різниці у їхній меті, підготовці та відповідальності. Зважаючи на різницю в завданнях і вимогах між цивільними пілотами і військовими льотчиками (табл. 1) відображає ключові відмінності між підготовкою цивільних пілотів і військових льотчиків у практичному аспекті їхньої діяльності.

Таблиця 1. – Порівняння відмінностей у практичній підготовці двох категорій авіаторів (фрагмент)

Характеристика	Цивільні пілоти	Військові льотчики
Мета підготовки	Забезпечення безпечного, комфортного та ефективного польоту для пасажирів або перевезення вантажів	Виконання військових завдань, розвідка, транспортні та бойові місії, підтримка обороноздатності країни та захист національних інтересів
Місце навчання	Авіаційні школи, академії	Військові авіаційні школи, академії
Тривалість навчання	Зазвичай триває від кількох місяців до кількох років	Військова підготовка може тривати декілько років
Теоретичне навчання	Фокус на навчанні пасажирського аспекту, безпеки та навігації	Включає в себе військову тактику, бойову стратегію та підготовку до військових місій
Практичні тренування	Акцент на здійсненні безпечних польотів та експлуатації літаків	Бойові тренування, стримування, виконання бойових маневрів
Зміст навчальної програми	Теорія льотного процесу, навігація, безпека польотів, експлуатація повітряних суден	Військова тактика, бойова підготовка, військова стратегія, військова дисципліна, стрільба, військова дієздатність
Військові аспекти	Не має військових аспектів в навчанні	Військові тактичні маневри, військовий кодекс поведінки
Відповідальність	Забезпечення безпеки польотів, дотримання регуляцій авіаційних організацій	Виконання бойових місій, захист національних інтересів, військова дисципліна

Продовження таблиці 1

Види повітряних суден	Цивільні повітряні судна. робота на різних типах залежно від власної кваліфікації та рейсових вимог	Використання військових літаків та гелікоптерів, включаючи винищувачі, бомбардувальники, розвідувальні літаки тощо
Стандарти безпеки	Дотримання стандартів, встановлених авіаційними організаціями, щоб запобігти аваріям та інцидентам	Великий акцент на безпеку, враховуючи аспекти бойової готовності
Спеціальні навички	Спеціальні навички, ведення пасажирських рейсів, експлуатація конкретних типів літаків	Бойові маневри, вивчення військових систем та процедур, які вимагаються від більш складних військових літаків
Етап кар'єри	Можливість розвитку у напрямку інструкторства, керівництва або спеціалізації в певній галузі (наприклад, медична авіація)	Можливість проходження служби в різних авіаційних підрозділах, включаючи винищувальну авіацію, транспортну авіацію, розвідувальну авіацію та інше
Вимоги до фізичного стану	Здоров'я повинно відповідати медичним стандартам, необхідно мати добре фізичне здоров'я	Вимоги до фізичного стану можуть бути вищими, включаючи можливість переносити великі навантаження та стресові ситуації
Стресові ситуації	Можливість стресових ситуацій, але переважно в зв'язку з нестандартними ситуаціями	Високий рівень стресу під час бойових операцій, тренування на стрільбищах, симулятори військового літака
Бойова готовність	Не вимагається бойова готовність, фокус на безпеці і ефективності перевезень	Вимагається висока бойова готовність, тренування для реагування на небезпеку та виконання військових місій
Дисципліна	Підтримання дисципліни, але без жорстких військових правил	Важлива для забезпечення ефективного виконання бойових завдань
Взаємодія з повітряним контролем	Взаємодія з повітряними контрольними службами, підпорядкованість авіаправилам	Співпраця з військовими оперативними центрами, стратегічне планування та взаємодія у складних військових сценаріях
Етос професії	Пасажирська безпека, регулярність рейсів, клієнтське обслуговування	Покладення акценту на військову службу. обов'язки в обороні та виконанні місій

Важливо відзначити, що кожен з цих аспектів може мати різне значення в залежності від конкретної ситуації та контексту використання льотного персоналу. Визначення вагомості кожного з аспектів може бути індивідуальним та залежати від конкретних потреб та вимог відповідної галузі.

#### Список посилань

1. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем» 18 листопада 2020 року, Кропивницький. – Вид-во ЛА НАУ, 2020, – 360 с.
2. Модернізація професійної підготовки майбутніх фахівців авіаційної галузі: монографія / кол. авторів; за ред. Т. С. Плачинда. – Кропивницький: «Поліум», 2020. – 428с. ISBN 978-966-8559-77-8.

УДК 621.9

**Воронцов Б.С.,** докт. техн. наук, професор

**Лашина Ю.В.,** канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», voronts@gmail.com

### **МІЖНАРОДНИЙ ПРОЕКТ «ADDITIVE MANUFACTURING FOR RESEARCH AND EDUCATION»**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» приступив до виконання проекту в сфері освіти ADMIRE – Additive Manufacturing for Research and Education в межах Програми сусідства Балтійського моря Шведського інституту (SI Baltic Sea Neighbourhood Programme).

Метою проекту є підтримка українських аспірантів та молодих дослідників у галузі адитивного виробництва (АВ) в їх професійному розвитку через включення їх до міжнародного середовища досліджень і розробок.

Учасниками проекту є Карлстадський університеті (Швеція), дві компанії, які займаються виробництвом обладнання та надають послуги в галузі адитивних технологій. Це International Additive Manufacturing Group (Польща) і НВО «Червона Хвиля» (Україна).

International Additive Manufacturing Group (IAMG) займається створенням складних металевих виробів за допомогою процесу лазерного порошкового сплавлення (LPBF). Складна технологія включає лазерне плавлення металевого порошку в інертному середовищі шар за шаром. Крім того IAMG розробляє і виготовляє обладнання для цієї технології. Першим металевим 3D-принтером був Alfa-150. Робоча камера 150 x 150 x 180 мм. Цей принтер, допоміг у виготовленні складних компонентів для аерокосмічної промисловості. Наступним 3D-принтером став Alfa-280. Ця модель була розроблена для промислового використання, дрібносерійного виробництва та високоточного друку. Робоча камера вміщує більші компоненти розміром до 280 x 280 x 300 мм.

НВО «Червона Хвиля» використовує xBeam 3D Metal Printing – технологію Additive Manufacturing, яка була створена для того, щоб зробити 3D-друк металів доступним для найширшого промислового співтовариства. Технологія xBeam 3D Metal Printing дозволяє швидко та якісно виготовляти високоякісні металеві вироби будь-якого розміру зі звичайного дроту. Нові запатентовані рішення базуються на ексклюзивній здатності газорозрядної електронно-променевої гармати генерувати порожнистий конічний електронний промінь, який забезпечує унікальні фізичні умови для точно контрольованого осадження металу та формування потрібної металевої структури у виготовленій 3D металевій деталі. Звичайний стандартний промисловий металевий дріт діаметром до 3,2 мм можна легко перетворити на високоякісні деталі. Найкраще поєднання точності та продуктивності зменшує втрати металу та вартість кінцевої обробки деталей. Товщина стінки від 1,5 мм, шорсткість поверхні < 1 мм, швидкість осадження до 2000 см<sup>3</sup> на годину.

Серед обладнання, яке випустило НВО «Червона Хвиля» для досліджень і розробок – xBeamLab. Розмір збірки: 300 x 300 x 400 мм. xBeamWorks – ексклюзивна пропозиція для промислового виробництва: Розмір збірки: 750 x 600 x 400 мм, до 5-осьової системи позиціонування. xBeamGrand збірки під замовлення – забезпечують будь-який розмір, будь-яка конфігурація, підвищена потужність, підвищена продуктивність.

Делегація з України і Польщі побувала в Карлстадському університеті, прийняла участь в роботі Шведського виробничого симпозіуму (Swedish Production Symposium –2024), організованом Університетом Вест, ознайомилась з Центром виробничих технологій у Троллхеттані (Production Technology Center in Trollhättan).

Проект буде сприяти підвищенню рівня знань цільових груп щодо поточного розвитку та впровадженню адитивного виробництва в освіті і наукових дослідженнях.

УДК 004.2:007.52:378.14

**Торпаков А.С., канд. техн. наук**

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, torpakov@gmail.com

**Макруха Т.О., канд. техн. наук**

**Ковбаса З.Р., студент**

Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, tmakruha@gmail.com

## **ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ У ВИВЧЕННІ РОБОТОТЕХНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ СХЕМОТЕХНІКИ У ВИЩІЙ ШКОЛІ**

Надання якісних освітніх послуг в українській вищій школі в умовах неспровокованої збройної агресії російської федерації ускладнюється необхідністю проводити значну частину практичних занять в дистанційному режимі [1]. А руйнування та економічна криза, спричинені цими подіями, суттєво обмежують можливість оновлення матеріально-технічної бази українських ВНЗ, зокрема у сфері придбання таких корисних апаратно-програмних платформ, як LEGO Mindstorms та Arduino. Тому використання онлайн-платформ, які надають можливість аналізу, синтезу та моделювання складних електронних систем, є актуальною проблемою сучасної освіти.

Досвід викладання робототехніки в Економіко-технологічному інституті імені Роберта Ельворті дозволяє рекомендувати для навчання у вищій школі такі відкриті онлайн-платформи, як Open Roberta Lab [2] та Tinkercad [3]. Open Roberta Lab – це інтегроване середовище програмування, яке дозволяє студентам моделювати та програмувати роботів на таких апаратних платформах, як:

- LEGO Mindstorms Ev3 та LEGO NXT.
- Calliope mini.
- Spike Prime / Robot Inventor.
- Edison.
- micro:bit.
- Thymio.
- BOB3.
- Bionic Flower та Bionics Kit.
- Arduino (як для окремої плати, так і для готових збірок роботів, зокрема Bot'n Roll).
- mBot.
- NAO.
- Robotino.
- WeDo.
- SenseBox.
- ROB3RTA.

Вихідний код цієї платформи з повністю відкритий, а програмне забезпечення та інструменти для розробників з відкритим вихідним кодом доступні через сервери Fraunhofer IAIS. Програмування може виконуватись як в консолі, так і за допомогою власного візуального середовища NEPO. Велика перевага Open Roberta Lab у порівнянні з іншими аналогічними платформами полягає у потужному режимі симуляції, який дозволяє візуалізувати очікувану поведінку обраного робота при виконанні створеного студентами коду у різних модельних середовищах (робочих столах, лабіринтах тощо). Платформа для візуалізації дозволяє як користуватись готовими модельними оточеннями, так і створювати власні, як за допомогою вбудованого редактору, так і шляхом імпорту файлів оточення, створених у інших редакторах.

Tinkercad — це безкоштовна онлайн-платформа для 3D-моделювання та моделювання електричних схем, яка дозволяє синтезувати електричні схеми на основі деталей, які зокрема входять до апаратно-програмних комплексів Arduino та micro:bit, програмувати мікропроцесори цих комплексів за допомогою вбудованої консолі мови програмування C++ або власного візуального середовища програмування CodeBlocks, а також моделювати поведінку створених студентами віртуальних програмно-апаратних комплексів.

Circuit Verse [4] – це відкрита онлайн-платформа для моделювання цифрових схем комбінаційної та секвенційної логіки. На цій платформі складні логічні схеми можна проектувати та моделювати за допомогою графічного інтерфейсу користувача. У CircuitVerse – це проект із відкритим вихідним кодом та активною спільнотою. CircuitVerse дозволяє користувачам будувати та аналізувати цифрові схеми із використанням таких елементів, як:

- Джерела сигналів, зокрема генератори двійкового коду із різною бітовою глибиною, рандомайзери, кнопки, лічильники, степпери та генератори функцій.
- Пристрої виведення, зокрема візуалізатори значень вихідного двійкового коду, світлодіоди, семисегментні індикатори та LED-панелі.
- Логічні елементи комбінаційної логіки.
- Комутаційні логічні елементи, зокрема сплітери, мультиплексори, демультимплексори та дешифратори.
- Елементи секвенційної логіки (тригери, генератори тактового сигналу, модулі пам'яті RAM, ROM та EEPROM).
- Складні елементи, зокрема напівсуматори, арифметико-логічні пристрої, буфери та тунелі.

Для створених цифрових контурів платформа CircuitVerse дозволяє:

- Відстежувати значення бінарного коду як на пристроях виведення, так і на окремих елементах схеми.
- Будувати таблиці істинності.
- Будувати часові діаграми сигналу в окремих точках контуру за вибором користувача.

Також функціонал платформи CircuitVerse містить можливість автоматичного синтезу логічної схеми комбінаційної логіки за заданими користувачем логічними виразами або таблицею істинності.

Всі три розглянуті онлайн-платформи були створені саме для використання в освіті, тому на кожній з них існує відкрита галерея проектів, яка дозволяє вивчати моделі програмно-апаратних комплексів, створених іншими користувачами. Це дозволяє викладачам та студентам самостійно вивчати складні системи та створювати власні системи на їх основі без необхідності залучення великого обсягу довідкової літератури. Таким чином, використання таких відкритих онлайн-платформ, як Open Roberta Lab, Tinkercad та Circuit Verse дозволяє студентам здобувати практичні навички аналізу та синтезу складних роботехнічних та комп'ютерних систем без необхідності відвідування пар у очному форматі та придбання апаратно-програмних навчальних платформ.

#### Список посилань

1. Макруха Т. О. Використання елементів геймфікації під час викладання курсу дисципліни «Матеріалознавство і технологія конструкційних металів» / Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Комп'ютерні ігри та мультимедія як інноваційний підхід до Комунікації». Одеса, 29-30 вересня 2022 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2022 р. С. 30-32.
2. Open Roberta Lab. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lab.open-roberta.org/>
3. Tinkercad. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tinkercad.com/>
4. CircuitVerse. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://circuitverse.org/simulator>

# KOSTAL

Товариство з обмеженою відповідальністю «Костал Україна»  
Вул. Покровська 2, м. Переяслав, Київська обл., 08400, Україна

Генеральний директор - Радослав Шкуп

тел.: +38 (04567) 5-11-00

e-mail: [infoua@kostal.com](mailto:infoua@kostal.com)



*ТОВ «Костал Україна» м. Переяслав*

ТОВ «КОСТАЛ Україна» було засноване 6 липня 2006 р. в м. Переяслав, Київської області, і входить до складу міжнародної виробничої компанії KOSTAL GROUP зі штаб-квартирою в Німеччині, яка має 46 підприємств в 21 країні світу.

KOSTAL GROUP є світовим лідером у виробництві мехатронних виробів для автомобільної промисловості.

Серед основних напрямків діяльності Товариства слід виділити

наступні:

- Конструкторська розробка та дизайн;
- Індустріалізація: розробка та виробництво обладнання;
- Управління проектами (ініціальний процес);
- Розробка та виробництво пластикових комплектуючих;
- Цех механічної обробки матеріалів;
- Виробництво автомобільної електроніки;
- Монтажний цех;



*ТОВ «Костал Україна» с. Дударків, Бориспільського р-ну*

За більш ніж 17 років існування ТОВ «КОСТАЛ Україна» створило в м. Переяслав, та с. Дударків Бориспільського району, Київської області сучасні заводи з виробництва автомобільної електроніки для таких відомих автомобільних компаній як FORD, VW, Mercedes Benz, BMW, Renault, Skoda, Seat, Porsche, Audi, Lamborghini.

За всі роки існування підприємство успішно проходить сертифікаційні оцінки та аудити, отримало сертифікати якості IATF 16949 та ISO

14001. У 2011 році підприємство отримало Статус Якості Q1 від замовника компанії Ford. У 2012 році отримана Нагорода від Голови Київської обласної адміністрації – перше місце серед підприємств у номінації промисловість і будівництво.

На сьогодні ТОВ «КОСТАЛ Україна» є найбільшим роботодавцем та сумлінним платником податків у м. Переяслав. Колектив підприємства нараховує близько 900 працівників.

*ДЛЯ НОТАТОК*

## НАУКОВЕ ВИДАННЯ

### **XIV Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»**

**23 – 24 травня 2024 року, м. Чернігів**

#### **Том 2**

Відповідальний за випуск	А. М. Єрошенко
Редактор	С. П. Сапон
Комп'ютерна верстка і макетування:	О. С. Сапон

Підписано до друку 24.05.2024. Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.  
Ум.-друк. арк. 21,39. Тираж 100 пр. Зам. № 11/24

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.