

УДК 519.872.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-185-197

Світлана Корнієнко, Ігор Корнієнко, Володимир Дмитрієв,
Анатолій Павленко, Олег Скиба

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ДО ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Актуальність теми дослідження. Проведення випробувань озброєння та військової техніки є важливим та відповідальним державним завданням. Процес випробувань має регламентні обмеження в часі, чим забезпечується своєчасне виконання державних програм із прийняття на озброєння новітніх зразків. Нерідко під час випробувань відбуваються часові відхилення і затримки від запланованих термінів, що ставить під загрозу успішність виконання державного завдання. Тому прогнозування реального часу проведення випробувань є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Ефективність функціонування військової випробувальної установи визначається чітким та налагодженим процесом проведення масових випробувань новітніх зразків озброєння та військової техніки. Зриви випробувань та часові відхилення від плану, які мають певну стохастичну природу, здатні знизити ефективність всього процесу масових випробувань. Звідси виникає проблема прогнозування реального часу проведення випробувань окремого зразка озброєння та військової техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні існують багато фундаментальних і прикладних праць із питань формування прогнозів як природних явищ, так і у різних сферах діяльності людини. Останнім часом публікується чимало наукових робіт, присвячених проблемам підвищення ефективності випробувань, зокрема за допомогою автоматизації.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проблемою є визначення величини та характеру впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на реальний час проведення випробувань окремих зразків.

Постановка завдання. Для нормалізації планової діяльності випробувальної установи необхідно визначити спосіб, за допомогою якого на основі наявного статистичного матеріалу про перебіг випробувань дозволить чисельно визначити величину та характер впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на час проведення випробувань та отримувати апріорну оцінку можливого відхилення часу випробувань конкретного зразку озброєння та військової техніки.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто підхід до одержання кількісних значень впливу чинників зсуву часу на процес випробувань. Обґрунтовано та додано до загального виразу розрахунку реального часу випробувань поправочний коефіцієнт виду випробувань. Розглянуто та підготовлено до алгоритмування математичний апарат кореляційного аналізу для дослідження ступеню та характеру впливу внутрішніх та зовнішніх чинників на реальний час випробувань конкретного зразка озброєння та військової техніки. Зроблені зауваження та ремарки із застосування кореляційного аналізу до прогнозування реального часу випробувань.

Висновки відповідно до статті. Застосування кореляційного аналізу для прогнозування реального часу випробувань дозволить встановити об'єктивні показники відхилення часу випробування під дією зовнішніх та внутрішніх чинників, що супроводжують процес випробувань. Використання прогнозів у складі автоматизованої підсистеми планування та управління якістю випробувань дозволить нормалізувати перебіг процесу випробувань та мінімізувати негативний прояв зовнішніх та внутрішніх чинників.

Ключові слова: автоматизація; випробування, прогнозування, час, озброєння та військова техніка.

Табл.: 6. Рис.: 1. Бібл.: 32.

Постановка проблеми. Основне функціональне призначення випробувальної установи полягає у проведенні різного роду випробувань і досліджень зразків, а також оцінки результатів випробувань. З першого погляду така діяльність повинна мати чіткий плановий характер, проте на практиці, плановий процес проведення випробувань уразливий до множини внутрішніх та зовнішніх стохастичних впливів. Критичним такий вплив є при достатньо великій інтенсивності та щільності вхідного потоку зразків для випробувань. Тоді будь-яка затримка у випробуванні однозначно відіб'ється на випробуванні інших, наступних зразків (що може статися через елементарний можливий брак фахівців-випробувальників, з яких комплектуються випробувальні бригади). При цьому утримання у штаті установи надмірної кількості фахівців для оперативного реагування на подібні форс-мажорні ситуації може виявитись надто затратним. З іншого боку, зменшення часу випробувань, наприклад через зняття зразку з випробувань, може призвести до певного простою випробувальної бригади, а отже, і зниження ефективності функціонування випробувальної установи. Звідси виникає проблема врахування проявів можливих стохастичних чинників впливу на процес випробування і, відповідно, прогнозування реального часу проведення випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процеси планування та проведення випробувань регламентуються чисельними законодавчими й нормативними актами, відомчими наказами та методичними рекомендаціями, наприклад [1-4]. На сьогодні одержала розвиток величезна кількість методів прогнозування, що застосовуються як до різних практичних сфер життєдіяльності, таких як економіка [5, 6], маркетинг [7], виробництво [8], соціологія [9; 10], політика [11], демографія [12; 13], метеорологія [14; 15] тощо; так і окремих наукових напрямів, таких як теорія надійності технічних систем [16; 17] і, навпаки, теорія скритності [18], прогнозування поведінки різноманітних систем, явищ і процесів у техніці [19], системах зв'язку [20], комп'ютерних технологіях [21], енергетиці [22], зокрема й у військовій справі [23]. Усі ці методи умовно можна згрупувати на евристичні (експертні), натурні (модельне, масштабне моделювання), екстраполяційні (динаміка середніх, найменших квадратів) та математичні (статистичне, аналітичне, імітаційне та інше моделювання) [24]. Безумовно, кожен метод прогнозування має власні переваги та недоліки і відокремлюється з-поміж інших цільовим призначенням, складністю, точністю і надійністю одержаних прогнозних оцінок.

Для нашого випадку проблема прогнозування формулюється в ракурсі невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх чинників на хід процесу випробування. При цьому невідомими на цей момент є як можливий перелік чинників впливу, так і їхня величина та характер прояву, а також їхня комплексна дія. Прогнозування можливих часових відхилень ходу випробувань дозволило б нівелювати негативну часову девіацію процесу випробувань, яка викликана проявами чинників зсуву. Підхід до прогнозування реального часу випробувань запропоновано авторами у [25], в основі якого покладено формування системи поправочних коефіцієнтів, обчислених на основі набору статистичних даних. Вихідними даними для задачі прогнозування є набір статистичних даних результатів випробувань за три роки, генеральна сукупність яких володіє властивістю спроможності [26], що звужує вибір методів аналізу до статистичного моделювання.

Аналіз генеральної сукупності статистичних даних дозволить сформувати наближений перелік чинників впливу на хід випробування та оцінку характеру їх впливу. Проте застосувати на пряму екстраполяційні методи прогнозування буде неможливо через унікальність зразків для випробування та можливу комплексність впливу чинників зсуву. У [25] запропоновано використання апарату теорії ймовірностей та кореляційного аналізу для врахування впливу стохастичних процесів. Вибір саме цього методу аналізу ґрунтується на неявних ознаках впливу чинників на процес випробувань та добру розвиненість цих методів аналізу [26; 27]. До того ж застосування цього методу вже було апробовано авторами у [28], де одержані добрі практичні результати.

Впровадження такого методу прогнозування у підсистему автоматизації планування та управління випробуваннями [29], дозволило б суттєво підвищити якість процесу випробувань, зокрема, і діяльність випробувальної установи.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Запропонований авторами підхід до прогнозування реального часу проведення випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) [25] передбачає використання вагових коефіцієнтів для корегування нормативного часу виконання випробувань певного зразка. Однак визначення величини та характеру впливу (додатний чи від'ємний) є нині проблемою через можливу комплексність впливу різних чинників зсуву, стохастичність умов проведення досліджень та унікальність (несерійність) зразків для випробування.

Мета статті. Сформувати спосіб, який на основі наявного статистичного матеріалу дозволить чисельно визначати величину та характер впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на час проведення випробувань та отримати апіорну оцінку можливого відхилення часу випробувань конкретного зразку ОВТ.

Виклад основного матеріалу. Загальному розгляду підлягає випробувальний інститут, який проводить випробування нових зразків ОБТ. Для опису й аналізу процесів, що супроводжують процес випробування у [30] запропоновано використання системи масового обслуговування (СМО), графічне представлення якої наведено на рис. 1.

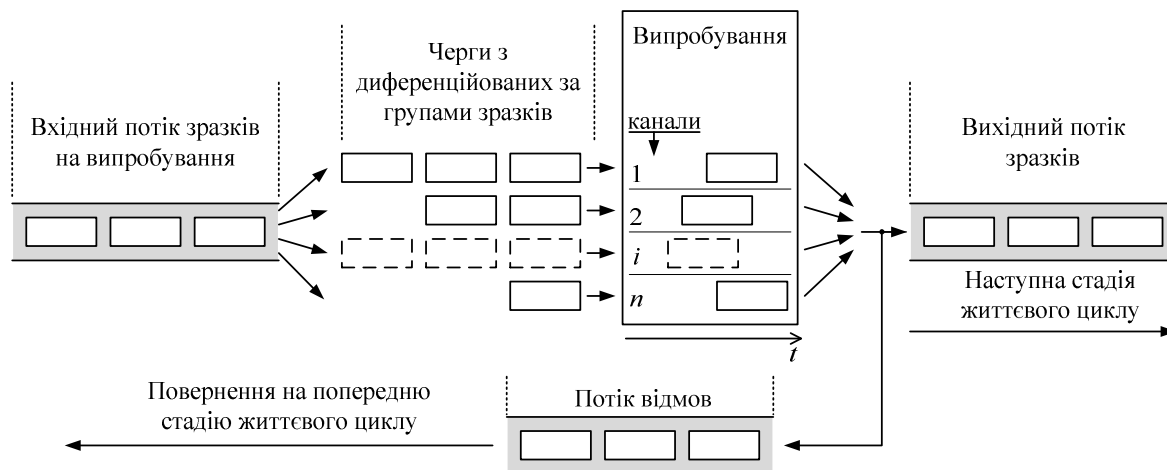


Рис. 1. Система масового обслуговування випробувань

Аналіз звітної матеріалу з результатами випробувань виявив факти відхилення фактичного терміну випробувань від запланованого, що пов'язано з впливом різних чинників внутрішнього (допідготовка випробувальної бригади, потреба у специфічних методах випробувань, недосконалість лабораторно-вимірювальної бази тощо) та зовнішнього характеру (погодні умови, пора року, невідповідність зразку або усунення виявлених недоліків у процесі випробування). Для нівелювання такого негативного явища авторами запропоновано підхід до прогнозування реального часу випробувань, який ґрунтується на використанні виразу [25]:

$$t^{*G} = \omega^G M[t_e], \tag{1}$$

де t^{*G} – прогнозований час проведення випробувань, ω^G – згортка вагових коефіцієнтів, що враховують вплив чинників зсуву на хід випробування зразка; $M[t_e]$ – математичне сподівання часу випробування середньостатистичного зразка.

На цьому етапі опустимо питання різномірності зразків ОБТ, видів випробувань, різновидів чинників впливу, і формалізуємо їх до понять множин: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – множина класів зразків ОБТ; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_x\}$ – множина видів випробувань; $V \in \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ – множина чинників зсуву часу.

Як вже зазначалося у [25], неоднорідні зразки (а точніше групи, або класи зразків) при випробуваннях можуть по-різному реагувати на прояви чинників зсуву часу – одна група зразків (наприклад, безпілотні літальні апарати) при випробуваннях мають критичну залежність від погодних умов, але інша група (наприклад, кабелі зв'язку) майже нечутливі до такого чинника. Відповідно, згортка вагових коефіцієнтів ω_i^G по i -тій групі зразків представляється згорткою по z_i стовпчику матриці (назвемо її матрицею чинників зсуву) виду:

	z_1	z_2	\dots	z_n	
v_1	ω_{11}	ω_{12}	\dots	ω_{1n}	
v_2	ω_{21}	ω_{22}	\dots	ω_{2n}	
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	
v_m	ω_{m1}	ω_{m2}	\dots	ω_{mn}	

(2)

де ω_{ji} – вплив j -го чинника на i -ту групу зразків.

Вираз (1) виражає вплив чинників зсуву на реальний час випробувань. Проте вид випробувань (визначальні відомчі, державні тощо) суттєво впливає на обсяг випробувань, а отже, і на час виконання програми випробування. З огляду на це можна було б очікувати, що матриця (2) має звестись до тривимірного вигляду з перебором по всіх видах випробувань множини $\{S\}$, однак, очевидно, що вплив будь-якого виду випробувань S_k на загальний час виконання програми випробувань є лінійним і не залежить від комбінації елементів множин $\{Z\}$ і $\{V\}$, але залежить тільки від групи ОБТ Z_k , а саме від обсягу випробувань конкретного виду ОБТ. Тобто для кожної групи ОБТ має бути поправочний коефіцієнт виду випробувань:

$$\begin{array}{c|cccc}
 & z_1 & z_2 & \dots & z_n \\
 s_1 & s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\
 s_2 & s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 s_x & s_{x1} & s_{x2} & \dots & s_{xn}
 \end{array} \quad (3)$$

З цих міркувань вираз (1) набуде вигляду:

$$t^{*G} = \omega^G s_{ki} M [t_g], \quad (4)$$

де s_{ki} – коефіцієнт, що визначає поправку тривалості випробувань k -го виду для i -ї групи ОБТ.

Розглянемо можливість формування матриці чинників зсуву (2). Коефіцієнти зсуву ω_{ji} мають об'єктивно відображати ступінь впливу чинників зсуву на час випробування. Очевидно, що як прояв чинників зсуву, так і результат їхнього впливу у вигляді збільшення або зменшення часу випробувань є випадковими величинами. Тобто в простішому представленні, маємо систему двох випадкових величин «прояв чинника впливу (x)» – «час випробувань (y)», для яких необхідно встановити кореляційну залежність виду $x \rightarrow y$. Визначення такої залежності можливе на основі результатів аналізу масиву статистичних даних про результати випробувань.

Відповідно до принципів кореляційного аналізу [31] визначимо порядок встановлення кореляційних залежностей системи двох випадкових величин v_i і t_g^i . На першому етапі необхідно сформувати статистичний ряд розподілу випадкової величини t_g^i для статистичної сукупності даних з n випробувань: $i = 1 \dots n$; $t_g^i \leq t_g^{i+1}$.

1	2	...	i	$i+1$	...	n
t_g^1	t_g^2	...	t_g^i	t_g^{i+1}	...	t_g^n

Для статистичного ряду t_g^i необхідно обрати оптимальну систему класифікації (групування) проведених випробувань. Обрана система повинна якнайкращим чином відокремлювати групу випробувань (формування кластер і окреслювати особливості класу). Тут можна користуватися різними методами: або розділювальні, або агломераційні. Найбільш поширеними автоматизованими методами розбивки статистичного ряду є методи рівних інтервалів, природної розбивки, квантилів та середньоквадратичного відхилення. Для виділення подібності або розбіжності статистичного показника можна використовувати міри однорідності об'єктів, такі як: евклідова відстань (ступенева евклідова відстань), відстань Чебишева, Мангеттенська відстань, відстань Мінковського тощо [32].

Для визначення ступені подібності статистичного показника (у нашому випадку це t_g), можна скористатися евклідовою відстанню виду $s_{t_g}^{ij} = \sqrt{(t_g^i - t_g^j)^2}$. У випадку спосте-

реження аномально великих значень $S_{t_e}^{ij}$ застосування евклідової відстані не буде ефективним. Тут доцільно скористатися ступеневою евклідовою відстанню $S_{t_e}^{ij} = \sqrt[p]{(t_e^i - t_e^j)^l}$, в якій варіюванням значень p і l прогресивно збільшувати або зменшувати вагу аномальних показників, досягаючи статистично-рівномірного інтервального ряду евклідової відстані щодо мінімального значення статистичного показника.

Сформований інтервальный ряд розбивається на певну кількість інтервалів, де інтервал статистичного показника обчислюється відповідно обраної ширини інтервального ряду евклідової відстані. Наприклад, при розбивці за схемою рівних інтервалів ширина інтервалу становитиме:

$$\Delta h = \frac{t_e^1 - t_e^n}{b}, \tag{5}$$

де b – кількість інтервалів. Параметри інтервального ряду матимуть вигляд табл. 1.

Таблиця 1

Параметри інтервального ряду «Час випробування»

Параметр	Кількість інтервалів	Нижня межа інтервалу, h_{\square}	Верхня межа інтервалу, h^*	Ширина інтервалу
Час випробування	b	$S_{t_e}^{ij \min}$	$S_{t_e}^{ij \max}$	Δh

Надалі здійснюється групування випробувань по класах відповідно до встановленої ширини інтервального ряду, кожне з яких характеризується проявами чинників зсуву часу (табл. 2).

Таблиця 2

Згруповані показники випробувань та характеристики чинників зсуву

№ класу b	Інтервал Δh	Умовний номер випробування	Час випробування t_e		Прояви чинника v_l		Прояви чинника ...		Прояви чинника v_m	
			абс.	відн.	абс.	відн.	абс.	відн.	абс.	відн.
1	$t_e^1 \dots t_e^i$	1	...	...	...	...	...	...	...	...
...
b	$t_e^j \dots t_e^n$	n	...	...	...	...	...	...	...	...

Результатом групування випробувань є сума показників проявів чинників по групах, які будуть далі нормуватися за кількістю випробувань у класі й визначатимуть середньогрупові показники проявів чинників зсуву по інтервалах.

У подальшому необхідно утворити серію комбінаційних угруповань інтервальных рядів «Час випробування» – «Прояв i -го чинника зсуву». Для цього, на основі абсолютних значень проявів чинників зсуву з табл. 2, необхідно утворити m варіаційних рядів (за кількістю чинників зсуву). Розбивка сформованих варіаційних рядів чинників зсуву на інтервали виконується аналогічно до розбивки варіаційного ряду часу випробувань, використовуючи один із наведених методів (попередньо ми користувалися методом рівних інтервалів (5)) (табл. 3).

Таблиця 3

Параметри інтервального ряду i -го чинника зсуву

Параметр	Кількість інтервалів	Нижня межа інтервалу, h_{\square}	Верхня межа інтервалу, h^*	Ширина інтервалу
Чинник зсуву v_i	b	$v_{i \min}$	$v_{i \max}$	Δh

На основі сформованих інтервальних рядів здійснюється попарне групування інтервальних рядів «Час випробування» – «Прояв i -го чинника зсуву», результат яких утворює кореляційні таблиці, приклад якої наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Кореляційна таблиця «Час випробування» – «Чинник зсуву v_i »

Час випробування t_g		Чинник зсуву v_i			n_{t_g}
Клас h	Інтервал	$v_{i\min} \dots$	\dots	$\dots v_{i\max}$	
1	$t_g^1 \dots t_g^i$	Кількість сумісних проявів по класах із таблиці 2: $n_{t_g v_i}$	\dots	\dots	Сумарне значення по строчці
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
b	$t_g^j \dots t_g^n$	\dots	\dots	\dots	\dots
n_{v_i}		Сумарне значення по стовпцю	\dots	\dots	Загалом

Для спрощення подальшого обчислення вибіркового коефіцієнта кореляції необхідно трансформувати кореляційні таблиці інтервальних рядів у кореляційні таблиці умовних варіантів, для чого введемо умовні змінні u і w :

$$\bar{u}_i = \frac{\bar{v}_i - c_1}{\Delta h_1}; \quad \bar{w}_i = \frac{\bar{t}_g^i - c_2}{\Delta h_2},$$

де c_1, c_2 – хибний нуль, $\Delta h_1, \Delta h_2$ – інтервал кроку.

Тут слід зауважити, якщо варіаційні ряди чинників зсуву розбивалися методом рівних інтервалів, то ширина інтервалів одного інтервального ряду має рівні значення; якщо для розбивки варіаційного ряду використовувалася кластерна класифікація (будь-який метод відшукування подібності на кшталт евклідової відстані), то незважаючи на розбивку варіаційного ряду методом рівних інтервалів, ширина для різних інтервалів не буде однаковою.

Вибірковий коефіцієнт кореляції $r_B = (\sum n_{uv} vt - n\bar{v}\bar{t}) / (n\bar{\sigma}_v \bar{\sigma}_t)$ при заміні змінних на умовні трансформується до вигляду:

$$r_B = \frac{\sum n_{uw} uw - n\bar{u}\bar{w}}{n\bar{\sigma}_u \bar{\sigma}_w}, \quad (6)$$

де $\bar{\sigma}_v, \bar{\sigma}_t, \bar{\sigma}_u, \bar{\sigma}_w$ – вибіркові середні квадратичні відхилення.

Трансформовані кореляційні таблиці умовних варіантів для різних комбінацій інтервальних рядів мають вигляд табл. 5.

Таблиця 5

Кореляційна таблиця умовних варіантів «Час випробування» – «Чинник зсуву v_i »

w_{t_g}		u_{v_i}			$n_{w_{t_g}}$
Клас h	Інтервал	-1	0	1	
1	$t_g^1 \dots t_g^i$	Кількість сумісних проявів по класам з таблиці 2: n_{uw}	\dots	\dots	Сумарне значення по строчці
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
b	$t_g^j \dots t_g^n$	\dots	\dots	\dots	\dots
$n_{u_{v_i}}$		Сумарне значення по стовпцю	\dots	\dots	Загалом

Обчислимо значення $\sum n_{uw}uw$ для кореляційних таблиць умовних варіантів, перетворивши їх до вигляду табл. 6.

Таблиця 6

Розрахункова таблиця умовних варіантів «Час випробування» – «Чинник зсуву v_i »

w_{t_e}		u_{v_i}			$U = \sum n_{uw}u$
Клас h	Інтервал	-1	0	1	
1	$t_e^1 \dots t_e^i$	$n_{uw}u$	...	...	...
...
b	$t_e^j \dots t_e^n$	...	...	...	...
$W = \sum n_{uw}w$		...	...	...	Загалом
uW					$\sum_u uW$

Обчислення вибіркового коефіцієнту кореляції для множини досліджуваних варіаційних рядів здійснюється за виразом (6), при цьому значення \bar{u} і \bar{w} обчислюються виходячи з означення середньої:

$$\bar{u} = \frac{\sum n_u u}{n}; \bar{w} = \frac{\sum n_w w}{n}; \bar{u}^2 = \frac{\sum n_u u^2}{n}; \bar{w}^2 = \frac{\sum n_w w^2}{n},$$

а середньоквадратичне відхилення за виразами:

$$\bar{\sigma}_u = \sqrt{\bar{u}^2 - (\bar{u})^2}, \bar{\sigma}_w = \sqrt{\bar{w}^2 - (\bar{w})^2}.$$

Для того, щоб перейти від вибірових коефіцієнтів кореляції до коефіцієнтів зсуву у матриці (2) можна скористатися рівняннями лінійної регресії виду:

$$\bar{y}_x - \bar{y} = r \frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_x} (x - \bar{x}), \tag{7}$$

де $\bar{\sigma}_y, \bar{\sigma}_x$ – вибірові середні квадратичні відхилення, $\bar{\sigma}_y = \Delta h_1 \bar{\sigma}_u, \bar{\sigma}_x = \Delta h_1 \bar{\sigma}_w$; $\bar{x} = \bar{u} \Delta h_1 + c_1; \bar{y} = \bar{w} \Delta h_2 + c_2$.

Розв’язок рівняння (7) буде представлений у вигляді:

$\bar{y}_x = ax + b$, де a і b числа. Отже, матриця (2) набуде вигляду:

	z_1	z_2	...	z_n	
v_1	$a_{11}v_1 + b_{11}$	$a_{12}v_1 + b_{12}$...	$a_{1n}v_1 + b_{1n}$	(8)
v_2	$a_{21}v_2 + b_{21}$	$a_{22}v_2 + b_{22}$	...	$a_{2n}v_2 + b_{2n}$
...	
v_m	$a_{m1}v_m + b_{m1}$	$a_{m2}v_m + b_{m2}$	...	$a_{mn}v_m + b_{mn}$

в якій $\omega_{ji} = a_{ji}v_j + b_{ji}$.

За такого представлення матриці (2) згортка ω_{ji} по i -тій групі ОВТ здійснюється сумою елементів окремого стовпчика. Проте, одержаний результат не можна використати

у виразі (4), так як за фізичним сенсом згортка не є коефіцієнтом, як представлялося у [25], і який перебуває у межах: $0 < \omega < 1$ – при зменшенні реального часу випробувань; $1 < \omega < +\infty$ – при збільшенні реального часу випробувань, якщо $\omega=1$ то чинники зсуву не впливають на час випробування зразку.

Тобто ми одержали не безрозмірну величину, а час випробувань під дією чинників зсуву. Для представлення більш чіткого фізичного сенсу при дослідженні кореляції пари випадкових величин «прояв чинника зсуву» – «час випробувань» бажано досліджувати не час випробувань, а відхилення часу випробувань від запланованого $\Delta t_e^i = t_e^{i \text{ real}} - t_e^{i \text{ plan}}$. В цьому випадку прогнозований час випробувань зразку i -тої групи ОВТ становитиме:

$$t^{*Gi} = s_{ki} \left(\omega_i^G + M \left[t_e^i \right] \right), \quad (9)$$

де ω_i^G – згортка вагових коефіцієнтів z_i -го стовпчика матриці (8): $\omega_i^G = (a_{1i}v_1 + b_{1i}) + (a_{2i}v_2 + b_{2i}) + \dots + (a_{mi}v_m + b_{mi})$; $M \left[t_e^i \right]$ – математичне сподівання часу випробувань ОВТ.

Далі зробимо зауваження та ремарки із застосування кореляційного аналізу до прогнозування реального часу випробувань, що може виявитись корисним при практичних обчисленнях.

1. Передбачалося, але раніше не оговорювалося, що наведений порядок розрахунку застосовується до всієї статистичної сукупності даних, проте, як зазначалося вище, одні й ті ж чинники зсуву можуть по різному впливати на зразки різних груп ОВТ. Тому, для досягнення достовірного результату, кореляційний аналіз доцільно застосовувати також до всіх груп ОВТ з множини $\{Z\}$.

2. Статистичний матеріал з виконання випробувань ОВТ за три роки є доволі об'ємним за кількістю випробувань, це робить генеральну сукупність «спроможною», але робить задачу аналізу надскладною, як за обсягом обчислень, так і за часом, що потребується на опис проявів чинників зсуву часу випробувань. З іншого боку, зважаючи на велику кількість груп ОВТ (випробування проводилося по 25 групах ОВТ) не можна просто зменшувати період аналізу даних. У цьому випадку, на погляд авторів, можна скористатися репрезентативною вибіркою як для всієї сукупності даних, так і при дослідженні окремих груп ОВТ (де кількість випробувань була достатньо великою).

3. Для зменшення кількості операцій обробки даних можна перегрупувати раніше утворені групи ОВТ, по яких виконується статистичний звіт, з метою зменшення їх кількості (об'єднати споріднені групи ОВТ). Також можна припустити виключення заздалегідь очевидних випадків відсутності кореляції, наприклад вплив погодних умов при лабораторних випробуваннях у закритих приміщеннях.

4. Для встановлення кореляції по видах випробування може виявитись достатнім дослідження всієї генеральної сукупності даних, не звужуючи аналіз до окремих груп ОВТ. Таке припущення базується на тому, що процедурність для окремих видів випробувань є однаковою для всіх груп ОВТ, проте, це припущення потребує практичної перевірки.

5. При формуванні переліку чинників зсуву не бажано обирати та досліджувати «людський чинник фахівця з випробувань». Хоча може здатися, що час проведення випробувань напряму залежить від дослідів і практичних випробувань фахівця. Проте практика «заганяти» фахівця у жорсткі часові рамки може негативно вплинути на якість і ретельність самих випробувань. Крім того, зважаючи на великий перелік ОВТ, яку випробовує і сертифікує випробувальна установа, і яка має обмежений штат, кількість фахівців, що може випробовувати конкретну систему і має по ній досвід, рідко перевищує одного – двох. Тому, втрачається сенс досліджень кореляції одного фахівця, який, скоріше за все, однаково інтенсивно виконує задачі по всій техніці.

6. Обчислені вибіркові коефіцієнти характеризують лінійну залежність впливу чинника зсуву на час випробувань. Методами кореляційного аналізу можна оцінити нелінійність залежності, проте, визначити форму залежності доволі складно, що дещо зменшує точність прогнозу.

7. У процесі аналізу статистики спостерігаються випадки призупинення або перенесення випробувань окремих зразків, що пов'язане з їх непідготовленістю або усуненням виявлених недоліків. Згодом, за певний час, випробування продовжують. При застосуванні кореляційного аналізу до таких випадків, всі відокремлені фрагменти випробування одного зразка потрібно об'єднати. Інакше, можна прийти до помилкового статистичного висновку, що непідготовленість зразка зменшує час його випробувань.

8. Аналіз наявного статистичного матеріалу результатів випробувань показує по деяких групах ОВТ малу чисельність або взагалі відсутність випробувань. З огляду на це визначення поправки на вид випробувань s_{ki} таких груп ОВТ практично неможлива, тому має сенс використати поправки s_k , які визначені по всій сукупності результатів випробувань.

9. Зважаючи на обсяги обчислень при визначенні вибірових коефіцієнтів кореляції, практичну мету прогнозування реального часу випробувань і, можливо, потребу в подальшому уточненні й корегуванні коефіцієнтів кореляції виникає потреба в автоматизації статистичної обробки інформації і вироблення поправок при плануванні проведення випробувань.

Висновки відповідно до статті. Застосування кореляційного аналізу для прогнозування реального часу випробувань дозволить підвищити рівень точності і надійності прогнозів, так як встановлює об'єктивні відхилення часу випробування під дією зовнішніх та внутрішніх чинників, що супроводжують процес випробувань. Практична реалізація ідеї прогнозування часу випробувань можлива лише у складі підсистеми автоматизованого планування та управління випробуваннями, де прогнозування буде здійснюватись на етапі планування при введенні умов проведення випробування.

Безумовно, при практичній реалізації потребується оцінка результатів прогнозів, а накопичення та обробка нових статистичних даних дозволить проводити поточне уточнення коефіцієнтів матриці зсуву. Зважаючи на великий обсяг обчислень при визначенні коефіцієнтів кореляції і потреба в їх періодичному уточненні, актуальною є задача розробки і автоматизації алгоритмів обчислення поправочних коефіцієнтів часу випробувань, з метою їх подальшого застосування при прогнозуванні реального часу випробувань у складі підсистеми автоматизованого планування та управління випробуваннями.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 71 с.
2. Про затвердження Порядку складання єдиного наскрізного плану створення зразка (системи, комплексу) озброєння, військової і спеціальної техніки : Постанова Кабінету Міністрів України № 449 від 26 червня 2013 р.
3. ГОСТ В 15.211-78. СРПП ВТ. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения.
4. ГОСТ В 15.307-77. СРПП ВТ. Испытания и приемка серийных изделий. Основные положения.
5. Hank J. E., Reitsch A. J., Wichem D. W. Business Forecasting, 7th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2001.
6. Моделі й методи соціально-економічного прогнозування / Гаєць В. та ін. Харків : Вид-во ХДЕУ, 2003. 270 с.
7. Карпов В. А., Кучеренко В. Р. Маркетинг: прогнозування кон'юнктури ринку : навч. посіб. Київ : Т-во «Знання», КОО, 2001. 215 с.
8. Hill T. Manufacturing Strategy, 3rd ed., Irwin/McGraw-Hill, New York, 2000.

9. Smith H. L. The social forecasting industry. *Climatic Change*. 1987. Vol. 11. Pp. 35–60. <https://doi.org/10.1007/BF00138794>.
10. Freeman H. E., Rossi P. H. Furthering the applied side of sociology. *American Sociological Review*. 1984. Vol. 49. Pp. 571–580.
11. Ascher W. *Forecasting: An Appraisal for Policy-makers and Planners*. Johns Hopkins University Press, Baltimore. 1978.
12. Комплексне демографічне дослідження в Україні / за ред. чл.-кор. НАНУ, д.е.н., проф. Е. М. Лібанової. Київ : Український центр соціальних реформ, 2005. 190 с.
13. World Population Prospects: The 2010 Revision / United Nations ; Department of Economic and Social Affairs ; Population Division, 2011.
14. Allan H. Murphy; Robert L. Winkler. Probability Forecasting in Meterology. *Journal of the American Statistical Association*, Sep., 1984. Vol. 79, No. 387. Pp. 489–500.
15. Air Weather Service. “Probability Forecasting: A Guide for Forecasters and Staff Weather Officers”, IL: U.S. Air Force, Headquarters Air Weather Service, Scott Air Force Base. 1978. Pamphlet No. 105–51.
16. David J., Basic Reliability Prediction Theory in Reliability, Maintainability and Risk (Ninth Edition), 2017.
17. Половко А. М. Основы теории надёжности. Москва : Наука, 1964. 446 с.
18. Каневский З. М., Литвиненко В. П. Теория скрытности. Воронеж : ВГУ, 1991. 144 с.
19. Бестужев-Лада И. В., Саркисян С. А., Минаев Э. С., Мельникова Е. Н. Рабочая книга по прогнозированию. Москва : Мысль, 1982. 428 с.
20. Барабаш О. В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем. Киев : НАОУ, 2004. 226 с.
21. Borzemski L., Kaminska-Chuchmala A. Spatial web performance forecasting with sequential gaussian simulation method. *Information Systems Architecture and Technology*. Poland, Wroclaw: Oficyna Wydawnicza PWr, 2011. Pp. 37-46.
22. Добровольський В. К., Стогній О. В., Костюк В. О., Каплін М. І. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем / Ін-т загальної енергетики НАН України. Київ : Наукова думка, 2013. 252 с.
23. Воробйов О. В., Воробйов П. О. Вдосконалений метод прогнозування фрактальних процесів для систем підтримки прийняття рішень. *Системи обробки інформації*. 2010. Вип. 6(87). С. 191–193.
24. Прогнозування. *Філософський енциклопедичний словник* / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін. Київ : Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України : Абрис, 2002. 742 с.
25. Корнієнко С. П., Корнієнко І. В., Павленко А. Г., Камак Д. О. Підхід до прогнозування часу проведення випробувань озброєння та військової техніки. *Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій»*. 2019. № 3 (10). С. 94-100.
26. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва : Наука, 1969. 576 с.
27. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 1977. 479 с.
28. Корнієнко І. В., Хома В. П., Корнієнко С. П. Спосіб кореляційного визначення ступеню впливу об’єктивних чинників на кількість відібраних кандидатів на військову службу за контрактом. *Труди університету*. 2012. № 2(108). С. 158–166.
29. Корнієнко І. В., Камак Д. О., Руденко О. В., Москалець С. В. Автоматизація підсистеми планування випробувань. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020)* : матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 р.) : у 2 т. Чернігів : ЧНТУ, 2020. Т. 2. С. 206.
30. Корнієнко І. В., Корнієнко С. П., Походенко О. М., Казначей С. М., Руденко О. В. Графічне представлення моделі функціонування випробувальної організації. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2019. Вип. 2. С. 91–98.
31. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. Москва : Высшая школа, 1970. 239 с.

32. Вуколов Э. Л. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операции с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL : учебное пособие. 2-е изд., исправ. и доп. Москва : ФОРУМ. 2008. 464 с.

References

1. Kyiv Research Institute of Radio Measuring Equipment (KNDIRVA). (1995). *Vyprobuvannia i kontrol yakosti produktsii. Terminy ta vyznachennia* [Product testing and quality control. Terms and definitions] (DSTU 3021-95).
2. *Pro zatverdzhennia Poriadku skladannia yedynoho naskriznoho planu stvorennia zrazka (systemy, kompleksu) ozbroiennia, viiskovoi i spetsialnoi tekhniki* [About the statement of the Order of drawing up of the uniform through plan of creation of a sample (system, complex) of the armament, military and special equipment], Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 449 (26.06.2013) (Ukraine).
3. *Poriadok razrobotki programm i metodik ispytaniy opyitnykh obraztsov izdelii. Osnovnye polozeniia* [The order of development of programs and methods of tests of prototypes of products. Basic provisions] (1978). (GOST V 15.211-78. SRPP VT).
4. *Ispytaniia i priemka seriynykh izdelii. Osnovnye polozeniia* [Testing and acceptance of serial products. Basic provisions]. (1977). (GOST V 15.307-77. SRPP VT).
5. Hank, J. E., Reitsch, A. J., and Wichem, D. W. (2001). *Business Forecasting* (7th ed.). Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J.
6. Haiets, V., Klebanova, T., Ivanov, V. ta in. (2003). *Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohozuvannia* [Models and methods of socio-economic forecasting]. KhDEU.
7. Karpov, V. A., Kucherenko, V. R. (2001). *Marketynh: prohozuvannia koniunktury rynku* [Marketing: forecasting market conditions]. Znannia.
8. Hill, T. (2000). *Manufacturing Strategy*. (3rd ed.). Irwin/McGraw-Hill.
9. Smith, H. L. (1987). The social forecasting industry. *Climatic Change*, 11, pp. 35–60. <https://doi.org/10.1007/BF00138794>
10. Freeman, H. E., and Rossi, P. H. (1984). Furthering the applied side of sociology. *American Sociological Review*, 49, pp. 571–580.
11. Ascher, W. (1978). *Forecasting: An Appraisal for Policy-makers and Planners*, Johns Hopkins University Press.
12. Libanova, E. M. (2005). *Kompleksne demografichne doslidzhennia v Ukraini* [Comprehensive demographic research in Ukraine]. Ukrainyskiy tsentr sotsialnykh reform.
13. United Nations; Department of Economic and Social Affairs; Population Division. (2011). *World Population Prospects: The 2010 Revision*.
14. Allan H. Murphy, Robert L. Winkler. (Sep., 1984). Probability Forecasting in Meterology. *Journal of the American Statistical Association*, 79(387), pp. 489–500.
15. Air Weather Service. (1978). *Probability Forecasting: A Guide for Forecasters and Staff Weather Officers*. IL: U.S. Air Force, Headquarters Air Weather Service, Scott Air Force Base. Pamphlet No. 105–51.
16. David, J. (2017). *Basic Reliability Prediction Theory in Reliability, Maintainability and Risk* (Ninth Edition).
17. Polovko, A. M., (1964). *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Nauka.
18. Kanevskiy, Z. M., Litvinenko, V. P. (1991). *Teoriia skryitnosti* [Stealth theory]. VGU.
19. Bestuzhev-Lada, I. V., Sarkisyan, S. A., Minaev, E. S., Melnikova, E. N. (1982). *Rabochaia kniga po prognozirovaniyu* [Forecasting workbook]. Mysl.
20. Barabash, O. V. (2004). *Postroenie funktsionalno ustoichivyykh raspredelennykh informatsionnykh sistem* [Construction of functional stability of distributed information systems]. NAOU.
21. Borzemski, L., and Kaminska-Chuchmala, A. (2011). Spatial web performance forecasting with sequential gaussian simulation method. In *Information Systems Architecture and Technology*. Oficyna Wydawnicza PWr (pp. 37-46).
22. Dobrovolskyi, V. K., Stohnii, O. V., Kostiuk, V. O., Kaplin, M. I. (2013). *Ekonomiko-matematychne modeliuvannia enerhetychnykh system* [Economic and mathematical modeling of energy systems]. Naukova dumka.

23. Vorobiov, O. V., Vorobiov, P. O. (2010). Vdoskonalenyi metod prohnozuvannia fraktalnykh protsesiv dlia system pidtrymky pryiniattia rishen [An improved method for predicting fractal processes for decision support systems]. *Information processing systems*, 6(87), pp. 191–193.

24. Shynkaruk, V. I. (2002). Prohnozuvannia [Forecasting]. In *Filosofskiy entsyklopedychnyi slovnyk – Philosophical encyclopedic dictionary*. Abrys.

25. Korniienko, S. P., Korniienko, I. V., Pavlenko, A. H., & Kamak, D. O. (2019). Pidkhid do prohnozuvannia chasu provedennia vyprobuvan ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki [Approach to predicting the timing of weapons testing and military equipment]. *Novitni tekhnolohiyi. Zbirnyk naukovykh prats PVNZ «Universytet novitnikh tekhnolohii» – New technologies. Collection of scientific works of the Private Higher Educational Institution “University of New Technologies”* (pp. 94–100).

26. Venttsel, E. S. (1969). *Teoriia veroiatnosti [Probability theory]*. Nauka.

27. Gmurman, V. E. (1977). *Teoriia veroiatnosti i matematicheskaia statistika [Theory of probability and mathematical statistics]*. Vysshaia shkola.

28. Korniienko, I. V., Khoma, V. P., Korniienko, S. P. (2012). Sposib koreliatsiinoho vyznachennia stupeniu vplyvu obiektyvnykh chynnykiv na kilkist vidibranykh kandydativ na viiskovu sluzhbu za kontraktom [Method for correlation of degree of influence of objective factors on number of selected candidates for military service under contract]. *Trudy universytetu – NAOU “University Works”* (pp. 158–166).

29. Korniienko, I. V., Kamak, D. O., Rudenko, O. V., Moskalets, S. V. (2020). *Avtomatyzatsiia pidsystemy planuvannia vyprobuvan [Automation of the test planning subsystem]*. ChNTU.

30. Korniienko, I. V., Korniienko, S. P., Pokhodenko, O. M., Kaznachei, S. M., & Rudenko, O. V. (2019). *Hrafichne predstavlennia modeli funktsionuvannia vyprobuvanoi orhanizatsii [Graphical representation of the model of the testing organization functioning]*. *Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan' i sertyfikatsiyi ozbroiennya ta viys'kovoyi tekhniki – DNDI VS OV* (pp. 91-98).

31. Gmurman, V. E. (1970). *Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [A guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics]*. Vysshaia shkola.

32. Vukolov, E. L. (2008). *Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsii s ispolzovaniem paketov STATISTICA i EXCEL [Fundamentals of Statistical Analysis. Workshop on Statistical Methods and Operation Research Using the STATISTICA and EXCEL Packages]*. Forum.

UDC 519.872.4

Svitlana Korniienko, Ihor Korniienko, Volodymyr Dmytriiev,
Anatolii Pavlenko, Oleh Skyba

APPLICATION OF CORRELATION ANALYSIS METHODS TO PROBLEM FORECASTING REAL TIME FOR TEST OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Urgency of the research. Testing of armaments and military equipment is an important and responsible state task. The testing process has regulatory time constraints, which ensures the timely implementation of state programs for the adoption of the latest models. Often during the tests there are time deviations and delays from the planned deadlines, which jeopardizes the success of the state task. Therefore, the actual task is to predict real-time testing.

Target setting. The efficiency of the military test organization is determined by a clear and well-established process of conducting mass tests of the latest models of weapons and military equipment. Test disruptions and time deviations from the plan, which have a certain stochastic nature, can reduce the efficiency of the whole process of mass trials. This raises to the problem forecasting real-time for tests of individual samples of weapons and military equipment.

Actual scientific researches and issues analysis. Today there are many fundamental and applied works on the formation of forecasts of both natural phenomena and in various spheres of human activity. Recently, many scientific papers have been published on the problems of improving the efficiency of tests, including through automation.

Uninvestigated parts of general matters defining. The problem is to determine the magnitude and nature of the influence of external and internal factors on the real time of testing individual samples.

The research objective. To normalize the planned test activities of the test facility, it is necessary to determine a method that, based on available statistical material on the course of the tests, will quantify the magnitude and nature of the influence of external and internal factors on the time of testing. Also, using this method, you can get an a priori estimate of the possible deviation of the test time of a particular model of weapons and military equipment.

The statement of basic materials. The approach to obtaining quantitative values of the influence of time shift factors on the test process was considered. The correction factor of the test type was substantiated and added to the general expression of the calculation of real-time tests. The mathematical apparatus of correlation analysis for studying the degree and nature of the influence of internal and external factors on real-time tests of a specific sample of armaments and military equipment was considered and prepared for algorithmization. Remarks and comments on the application of correlation analysis to real-time forecasting of tests were made.

Conclusions. *The use of correlation analysis to predict real-time test time will allow establishing objective indicators of deviation of test time under the influence of external and internal factors accompanying the test process. The use of forecasts as part of the automated subsystem of planning and quality management of tests will normalize the course of the test process and minimize the negative impact of external and internal factors.*

Keywords: automation; tests; forecasting; time; armament and military equipment.

Table: 6. Fig.: 1. References: 32.

Корнієнко Світлана Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Korniyenko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9162-1229>

Корнієнко Ігор Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Korniyenko Ihor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of geodesy, cartography and land planning, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9105-0780>

Дмитрієв Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заступник начальника інституту з наукової роботи, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

Dmytriyev Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, The Laureate of State Prize of Ukraine in sphere of science and technique, Deputy Chief of Institute of Research Work, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vadmitriev@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-6397>

Павленко Анатолій Григорович – кандидат технічних наук, начальник науково-організаційного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

Pavlenko Anatolii – PhD in Technical Sciences, Chief of the Scientific Organizational section, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: agpav@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6341-8381>

Скиба Олег Васильович – науковий співробітник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

Skyba Oleh – researcher of the Scientific-research Department, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: skiborg@i.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6252-6775>