

УДК 621.791

**В.Л. Коваленко**, канд. техн. наук**Н.М. Стреленко**, канд. техн. наук**О.А. Гаєвський**, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ФЛЮСІВ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ  
НА СТАБІЛЬНІСТЬ ІСНУВАННЯ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ****В.Л. Коваленко**, канд. техн. наук**Н.М. Стреленко**, канд. техн. наук**О.А. Гаєвський**, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», г. Київ, Україна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ  
НА СТАБИЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА****Vladyslav Kovalenko**, PhD in Technical Sciences**Nataliia Strelenko**, PhD in Technical Sciences**Oleh Haievskiy**, PhD in Technical Sciences

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine

**RESEARCH OF INFLUENCE OF WELDING GUMBOILS AND THEIR  
COMPONENTS ON THE STABILITY OF ARC DIGIT EXISTENCE**

*Описано важливість оцінювання стабільності дугового розряду у процесі зварювання. Представлені результати дослідження оцінки стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під промисловими флюсами та їх окремими компонентами. Оцінювання проведене за розробленим новим комплексним критерієм оцінювання стабільності, підтверджена його адекватність.*

**Ключові слова:** стабільність існування дугового розряду, флюси, осцилографування, комплексний коефіцієнт стабільності існування дугового розряду, з'єднання фтору.

*Описана значимість оценки стабильности дугового разряда в процессе сварки. Представлены результаты исследования оценки стабильности существования дугового разряда при электродуговой сварке под промышленными флюсами и их отдельными компонентами. Оценка проведена по разработанному новому комплексному критерию оценки стабильности, подтверждена его адекватность.*

**Ключевые слова:** стабильность существования дугового разряда, флюсы, осциллографирование, комплексный коэффициент стабильности существования дугового разряда, соединения фтора.

*Described the importance of assessing the stability of arc during the welding process. The results of the study evaluating the stability of existence arc in arc welding fluxes for industrial and individual components. Evaluation conducted by developed a new comprehensive evaluation criteria of stability, confirmed its adequacy.*

**Key words:** stability existence of arc digit, gumboils, oscillografirovanie, complex coefficient of stability existence of arc digit, connections of fluorine.

**Постановка проблеми.** Однією з важливих характеристик дугового розряду є стабільність його параметрів у специфічних умовах зварювання [1-7]. Вона безпосередньо впливає на перенос електродного металу, гідродинамічні умови у зварювальній ванні і, як наслідок, на формування металу шва. Проведений нами аналіз відомих способів та методик оцінювання стабільності зварювального дугового розряду показав [8], що нині єдиної комплексної методики оцінювання, яка враховує фізичні особливості його існування та технологічні властивості, немає. Практично відсутні також у літературі дані, що описують перехідні процеси, форму осцилограм, миттєві значення струму та напруги при існуванні дугового розряду на різноманітних газо-шлакових системах.

Тому нами була поставлена задача оцінювання стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під сучасними флюсами за інноваційними комплексними критеріями оцінювання [9].

Вирішення цієї задачі потребує детального вивчення особливостей дугового розряду в умовах зварювання, яке може бути здійснене на основі цифрових осцилограм зварювальної дуги змінного струму [10-13]. На основі цього нами був розроблений комплексний критерій оцінювання стабільності існування дугового розряду [9] і, в

результаті, були проведені подальші дослідження трьох груп флюсів: безфтористі флюси АН-69, АН-44; кремніє-марганцеві флюси АН-60СМ, АН-348А, АН-67Б, АН-68; суміші флюсів АН-69+АНФ-6. Останні були підготовлені для планомірних досліджень впливу з'єднань фтору на стабільність існування зварювальної дуги.

**Вплив композицій зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду.** Нами було проведено дослідження стабільності існування дугового розряду у процесі зварювання під флюсами найбільш популярних марок. Для цього за методикою [14], нами проведено осцилографування процесу зварювання під флюсами марок АН-44, АН-60, АН-60СМ, АН-67Б, АН-68, АН-348, АН-69. Основна частина дослідних флюсів була надана 15 відділом Інституту електрозварювання імені Е.О. Патона. Безфтористі флюси марок АН-44 та АН-69 розроблені на кафедрі зварювального виробництва НТУУ «КПІ».

Отримані нами осцилограми електродугового зварювання під флюсами АН-44, АН-60СМ, АН-67Б, АН-68 представлені на рис. 1-2.

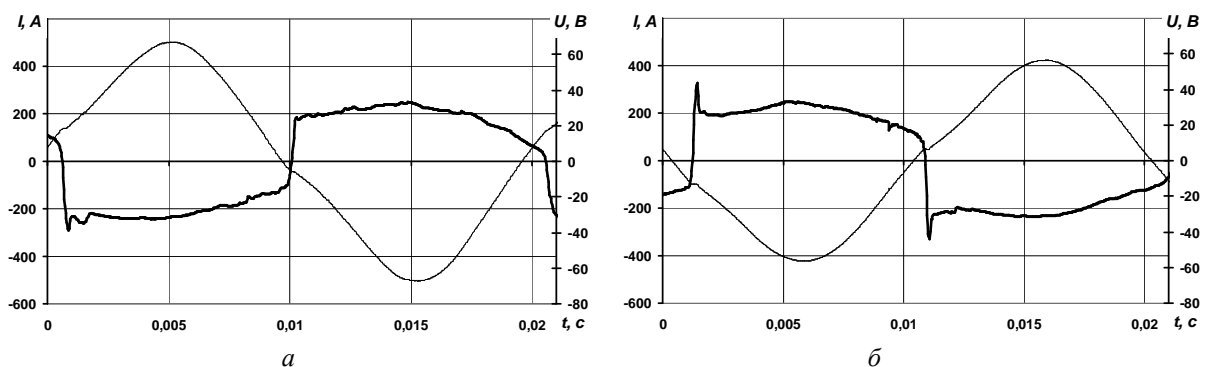


Рис. 1. Типові осцилограми зварювального струму та напруги на дузі під час електродугового зварювання під флюсами АН-44,  $K_{cm} = 0,01$  (а) та АН-60СМ,  $K_{cm} = 0,02$  (б)

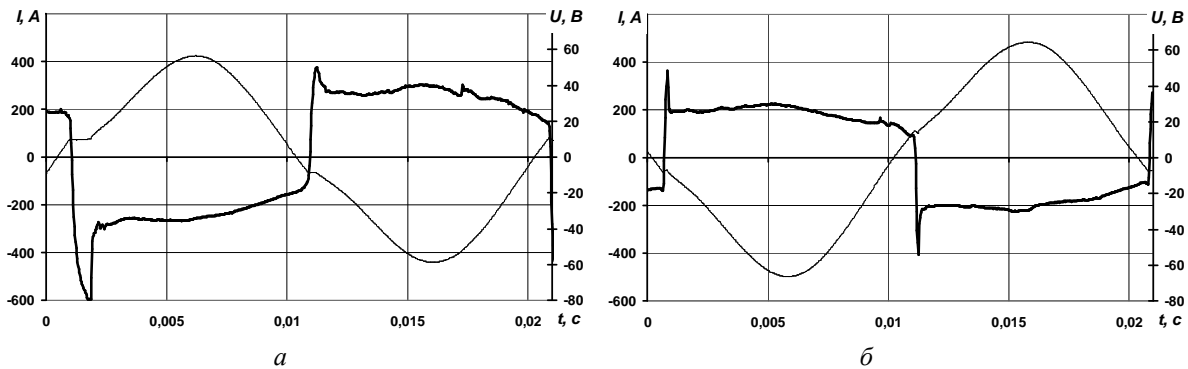


Рис. 2. Типові осцилограми зварювального струму та напруги на дузі під час електродугового зварювання під флюсами АН-67Б,  $K_{cm}=0,03$  (а) та АН-68,  $K_{cm}=0,04$  (б)

За отриманими осцилограмами та значенням розривної довжини дуги нами були проведені математичні розрахунки для визначення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду ( $K_{cm}$ ) [9] при електродуговому зварюванні під різними композиціями та марками флюсів. Результати розрахунків наведені у табл. 1 та на рис. 3.

Таблиця 1

Значення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду ( $K_{cm}$ ) під час електродугового зварювання під флюсом

Марка флюсу	Наявність у складі з'єднань фтору	Амплітудна напруга виникнення дугового розряду, В	Комплексний коефіцієнт стабільності дугового розряду ( $K_{cm}$ )
1	2	3	4
АН-69	–	50/40	0,009

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
АН-44	–	30/30	0,01
АН-60СМ	+	45/40	0,02
АН-348	+	78/30	0,029
АН-67Б	+	80/50	0,03
АН-60	+	75/60	0,03
АН-68	+	54/50	0,04

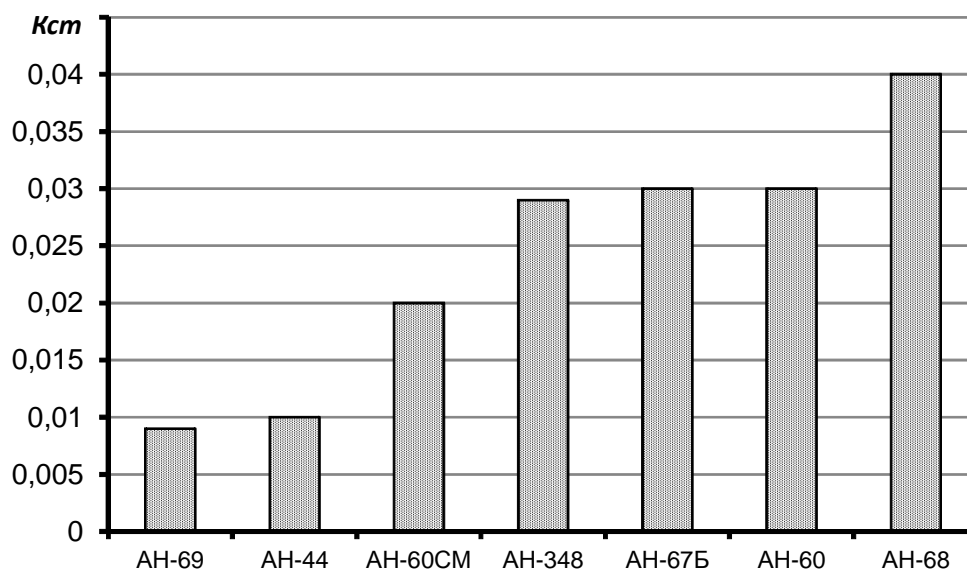


Рис. 3. Результати дослідження комплексної стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під дослідними флюсами (меншому значенню  $K_{cm}$  відповідає краща стабільність)

За результатами розрахунків (табл. 1) можна зробити однозначні висновки, що флюси, які не мають у своєму складі з'єднань фтору, мають принципово кращу стабільність існування дугового розряду. Це флюси АН-69 та АН-44, що були розроблені на кафедрі зварювального виробництва, причому флюс АН-69 є новітньою розробкою у порівнянні з флюсом АН-44, який був розроблений у 1980-х роках.

Найгірша стабільність існування дугового розряду виявилася у флюсу АН-68, але не настільки, щоб було неможливо вести процес зварювання. Мінімальне значення зварювального струму для цього флюсу буде меншим у порівнянні з аналогічними флюсами, які мають менші значення  $K_{cm}$ .

Усі інші флюси показали середні результати. Під усіма флюсами ніяких проблем з початком зварювання не було: дуга виникала стабільно, процес зварювання відбувався без особливостей, тому усі флюси можуть бути рекомендовані для подальшого використання на звичайних режимах. Флюси АН-69, АН-44 та АН-60СМ можна рекомендувати для зварювання на мінімальних значеннях струму.

**Вплив співвідношення компонентів у складі зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду.** Для визначення впливу певних компонентів флюсу на стабільність існування дугового розряду нами було проведено осцилографування процесу електродугового зварювання під сумішшю флюсів (рис. 4-6). Базовим нами був обраний безфтористий флюс АН-69, який показав найменше значення  $K_{cm}$ , тобто найкращу стабільність (табл. 1). Як флюс-домішувач нами обраний флюс АНФ-6, який у своєму складі має 65 %  $CaF_2$ . Флюс АНФ-6 був обраний нами тому, що складається практично повністю з  $CaF_2$ , який, як відомо, має великий потенціал іонізації. Це важко-

іонізуючий компонент, що суттєво погіршує стабільність існування дугового розряду (табл. 1).

Суміш флюсів для дослідження була зроблена у пропорціях від 1:1 до 1:0, тобто мінімальне співвідношення флюсів АН-69 та АНФ-6 було 50 % / 50 %, максимальне 100 % / 0 % з кроком у 10 %.

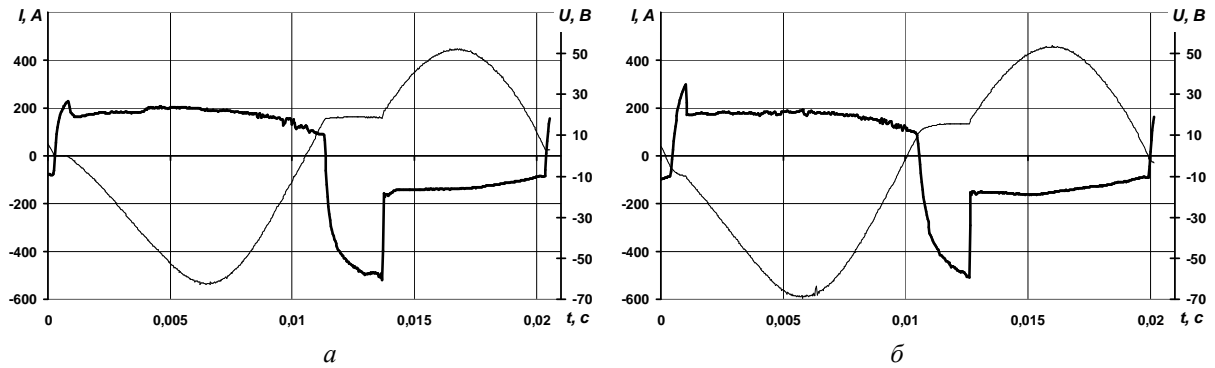


Рис. 4. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 50 %, АНФ-6 50 %,  $K_{cm}=0,0485$  (а) та АН-69 60%, АНФ-6 40 %,  $K_{cm}=0,0478$  (б)

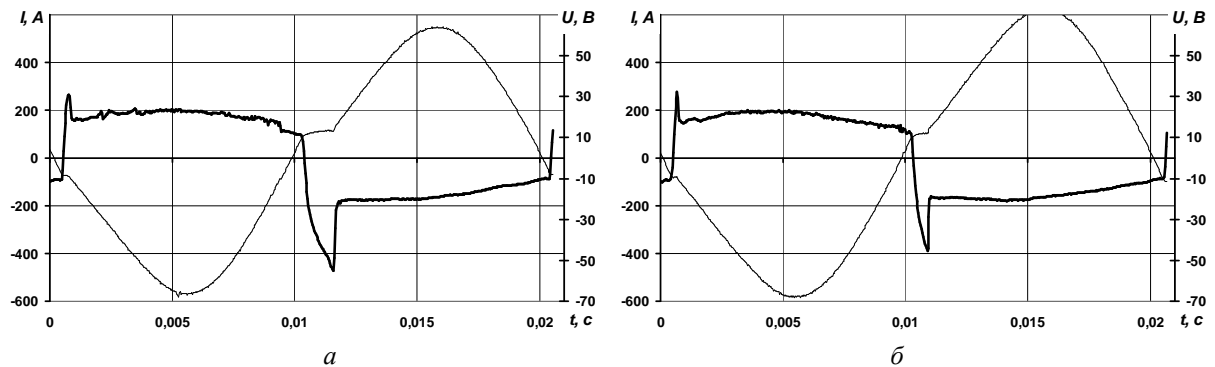


Рис. 5. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 70 %, АНФ-6 30 %,  $K_{cm}=0,045$  (а) та АН-69 80 %, АНФ-6 20 %,  $K_{cm}=0,026$  (б)

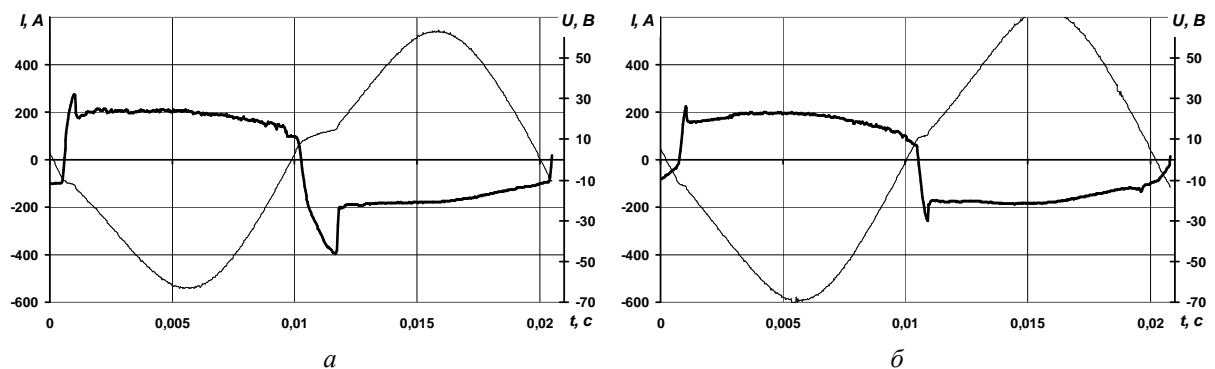


Рис. 6. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 90 %, АНФ-6 10 %,  $K_{cm}=0,019$  (а) та АН-69 100 %, АНФ-6 0 %,  $K_{cm}=0,009$  (б)

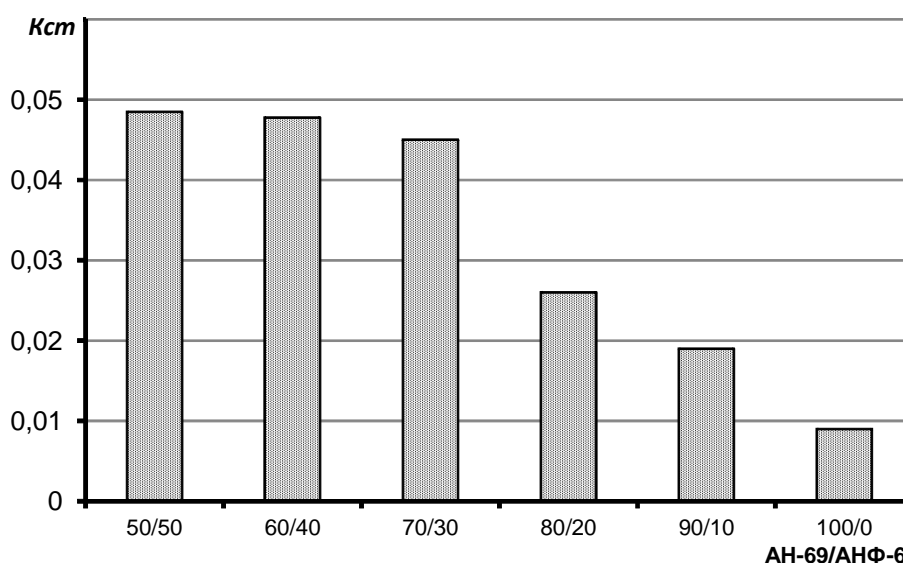
Аналіз отриманих осцилограм показує, що вміст  $CaF_2$  суттєво впливає на форму осцилограм. Форма осцилограм плавно змінюється у процесі зменшення кількості фтору у суміші (рис. 4-6) до типового вигляду осцилограм чистих флюсів (рис. 6, б).

Після математичного оброблення отриманих даних та визначення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду ( $K_{cm}$ ) (табл. 2) впливає, що  $K_{cm}$  адекватно та повно відображає стабільність дуги. Чим більше у складі суміші було з'єднань фтору, тим більше значення  $K_{cm}$  отримано (стабільність дуги гірша), і ця залежність плавно змінюється разом зі зміною кількості з'єднань фтору в суміші (рис.7).

Таблиця 2

*Результати математичної обробки осцилограм електродугового зварювання при різних співвідношеннях флюсів*

Співвідношення флюсів		Комплексний критерій стабільності існування дугового розряду ( $K_{cm}$ )
АН-69, %	АНФ-6, %	
50	50	0,0485
60	40	0,0478
70	30	0,045
80	20	0,026
90	10	0,019
100	0	0,009



*Рис. 7. Результати дослідження комплексної стабільності існування дугового розряду під час електродугового зварювання під дослідними сумішами флюсів АН-69 та АНФ-6 (меншому значенню  $K_{cm}$  відповідає краща стабільність)*

**Висновки.** Завдяки використанню сучасного комп'ютерного обладнання вперше показані детальні осцилограми існування дугового розряду під різними промисловими флюсами та їх сумішами. Визначений вплив різних композицій зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду. Встановлено, що безфтористі флюси априорі мають кращу стабільність, ніж флюси, у складі яких містяться з'єднання фтору.

Проведені дослідження впливу з'єднання фтору на комплексний коефіцієнт стабільності існування дугового розряду, які показали пряму кореляцію між значенням коефіцієнта та вмістом фтору у суміші. Показана можливість використання комплексного критерію стабільності оцінки процесів електродугового зварювання та наплавлення плавким дротом.

Рекомендується продовжити дослідження для інших способів зварювання, зокрема, ручного дугового штучними електродами та в середовищі суміші газів.

#### Список використаних джерел

1. Хренов К. К. Электрическая сварочная дуга / К. К. Хренов. – М. : Машгиз, 1949. – 204 с.
2. Патон Б. Е. Об оценке стабилизирующих свойств флюса для автоматической сварки / Б. Е. Патон // Автомат. сварка. – 1950. – № 2. – С. 85-89.
3. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 334 с.
4. Мазель А. Г. Технологические свойства сварочной дуги / А. Г. Мазель. – М. : Машиностроение, 1969. – 177 с.

5. *Багрянский К. В.* Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
6. *Gupta S. R.* Process stability and spatter generation during dip tranfer in welding / Gupta P. C., Rehfeldt D // *Welding Review*. – 1988. – № 11. – P. 232-241.
7. *Дедюх Р. И.* Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства электросварочной дуги : учебное пособие / Р. И. Дедюх. – Томск : Изд-во ТПУ, 2002. – 92 с.
8. *Жданов Л. А.* Методики оценки сварочно–технологических свойств флюсов / Л. А. Жданов, В. Н. Коперсак, В. Л. Коваленко // *Современные сварочные флюсы и опыт их применения в промышленности : сборник докладов международного научно-технического семинара ; Запорожье, 29-31 августа 2005 г. – Запорожье, 2005. – С. 41-43.*
9. *Жданов Л. А.* Шляхи виключення суб’єктивних факторів та новий комплексний критерій оцінки стабільності існування дугового розряду при випробуванні зварювальних матеріалів / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – 2011. – № 61. – С. 52-56.*
10. *Компьютерный анализ характеристик дуги переменного тока / Л. А. Жданов, А. М. Сливинский, В. Т. Котик, В. Н. Коперсак, В. Л. Коваленко, Ю. А. Пырч // Сварщик. – 2003. – № 2. – С. 32.*
11. *Дослідження зварювальної дуги змінного струму за допомогою персонального комп’ютера / Л. А. Жданов, А. М. Сливінський, В. М. Коперсак, В. Т. Котик, В. Л. Коваленко // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 3. – С. 49-55.*
12. *Технические системы записи параметров дуговых процессов на переменном токе / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко, В. Т. Котик, К. О. Зворыкин // Технологические системы. – 2005. – № 2. – С. 65-70.*
13. *Жданов Л. А.* Измерительный комплекс для фиксации электрических параметров сварки на переменном токе / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко, К. О. Зворыкин // *Технологические системы. – 2005. – № 4. – С. 40-45.*
14. *Коваленко В. Л.* Осциллографирование энергетических параметров дуговых процессов при сварке на переменном токе промышленной частоты / В. Л. Коваленко // *Прогрессивные технологии и процессы наукоемкого машиностроения. Технологические системы : материалы международной межотраслевой научно-технической конференции ; Гостомель, 25-26 сентября 2008 г. – 2008. – № 3. – С. 91.*