

УДК.621.791.793

Чвертко Є. П.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНИМ ОПЛАВЛЕННЯМ

Контактне стикове зварювання, зокрема зварювання безперервним оплавленням, широко застосовується в сучасній промисловості для виготовлення виробів різноманітного призначення. Для реалізації цього процесу навіть у разі зварювання однакових виробів застосовується устаткування із досить широким діапазоном характеристик, особливо енергетичних. Нагрівання деталей при цьому способі зварювання відбувається так само, як і для інших контактних способів: за рахунок виділення теплоти на електричних опорах, що складають зварювальне коло. Аналогічно до інших способів контактного зварювання, параметри режиму переважно визначаються за значенням потужності, яка витрачається у зоні зварювання під час процесу нагрівання. При цьому повинна виконуватись умова стійкості оплавлення [1–3], тобто потужність на деталях не повинна виходити за межі певного діапазону її значень, який, в свою чергу, визначається як фізичними характеристиками зварюваних деталей, так і технічними характеристиками зварювальної машини.

Досить часто виникає задача визначення необхідності коригування параметрів режиму при переході від однієї машини до іншої, з відмінними технічними характеристиками. Перевірку проводять експериментально, зварюючи партію пробних зразків, що вимагає тривалого часу через проведення додаткових експериментів. Додатково задача ускладнюється тим, що на значення потужності оплавлення впливають окрім енергетичних параметрів режиму механічні та кінематичні: виліт деталей, швидкість їхнього переміщення та ін. [1, 3, 4]. На сьогоднішній день подібні задачі вирішують шляхом побудови моделей відповідного процесу зварювання з урахуванням характеристик обладнання [5–7].

Метою досліджень є розробка моделі процесу контактного стикового зварювання безперервним оплавленням з урахуванням технічних характеристик зварювального обладнання.

Під час оплавлення у колі машини відбуваються перехідні процеси, пов'язані із різкою зміною опору при руйнуванні перемичок та значним індуктивним опором вторинного кола машини. Внаслідок цього напруга у вторинному колі має дві складові: детерміновану та стохастичну. Детермінована складова являє собою періодичний сигнал із частотою мережі. Стохастична має підвищену частоту, значення якої залежить від умов протікання процесу оплавлення. Тому для моделювання фізичних явищ при контактному стиковому зварюванні безперервним оплавленням доцільно застосувати апарат математичної статистики.

Високочастотна (стохастична) складова напруги має вигляд кривої із періодами підвищення значень (імпульсами), які відповідають процесові руйнування перемички, та зниження (паузи), які відповідають моментам утворення та нагрівання нових контактів (рис. 1). Граничне значення напруги на деталях, яке можна вважати перехідним між імпульсом та паузою, доцільно призначити на рівні 0,02 В, оскільки згідно даних [1] при подальшому зниженні напруги іскровий процес виявляється потенційно неможливим.

Збурення, що впливають на хід процесу нагрівання деталей, відображаються і на параметрах перехідних процесів, а, отже, на часові імпульсів та пауз. Тому з метою моделювання фізичних процесів під час зварювання безперервним оплавленням було досліджено залежність розподілу характеристик часових параметрів від встановленого режиму зварювання. Аналіз проводили з використанням осцилограм вторинної напруги під час процесу зварювання, проведеному на оптимальному режимі, та для двох варіантів постійно діючих відхилень: зниження швидкості оплавлення та зниження напруги неробочого ходу. У першому

випадку зміна кінематичних параметрів режиму приводить до зниження потужності оплавлення, а у другому – навпаки, до її підвищення. При цьому можливий перехід оплавлення до часткового нагрівання опором.

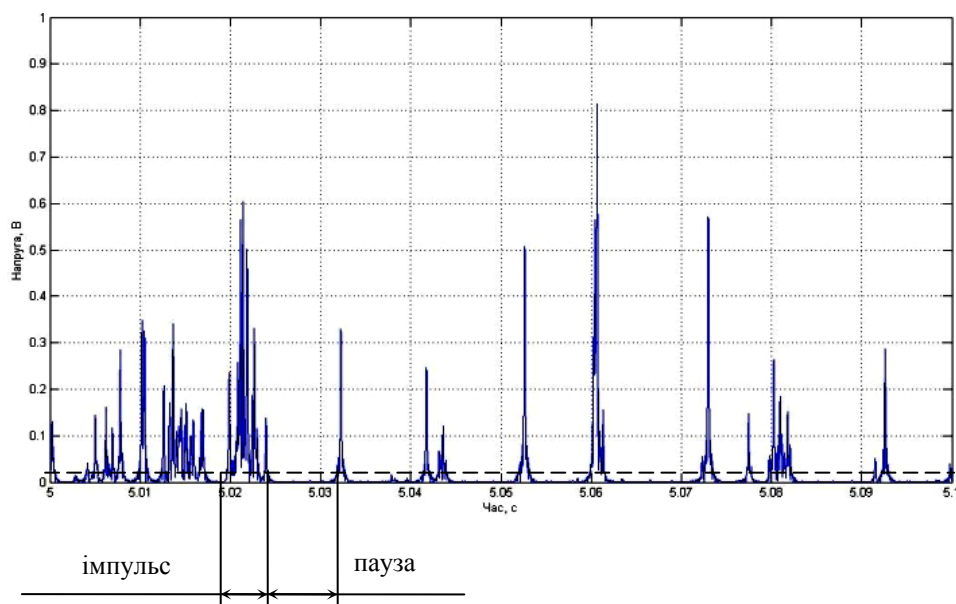


Рис. 1. Абсолютне значення високочастотної складової вторинної напруги під час оплавлення

Відповідні осцилограми напруги було розбито на характерні ділянки: початкове оплавлення (неусталений процес), перехід до нагрівання опором, усталене оплавлення та осадка під струмом (рис. 2).

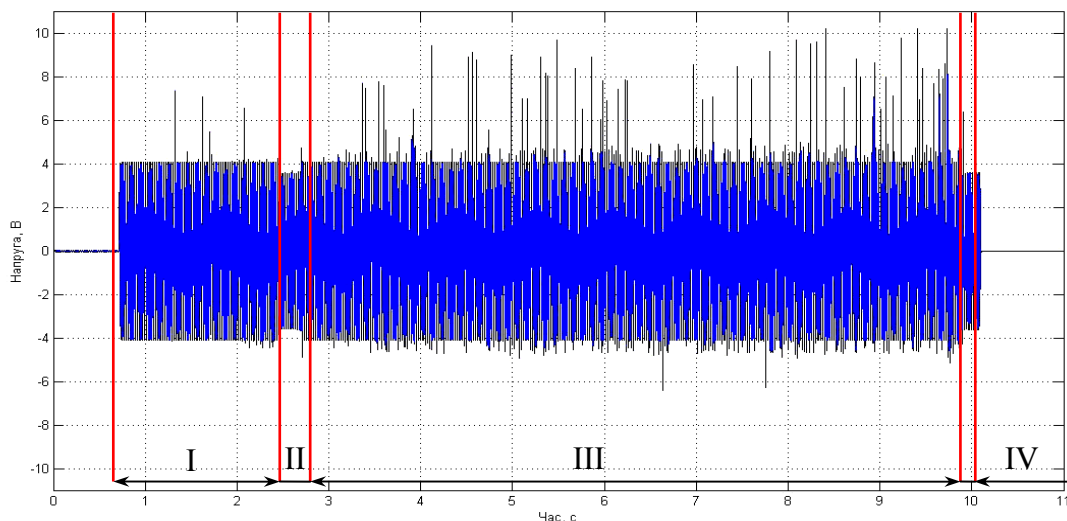


Рис. 2. Приклад розбиття осцилограми напруги на характерні ділянки:

I – початкове оплавлення; II – перехід до часткового нагрівання опором; III – стабільне оплавлення; IV – осадка під струмом

У результаті перевірки відповідності отриманих масивів даних певним видам розподілу випадкової величини встановлено, що розподіл значень випадкових величин – часу імпульсів та пауз – відповідає логнормальному. Для отриманих масивів даних обчислено параметри розподілу випадкової величини відповідно до логнормального розподілу (табл. 1):

$$y = f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де μ та σ – параметри розподілу; x – значення випадкової величини; y – імовірність.

Таблиця 1

Параметри розподілу випадкової величини – часу імпульсів і пауз за групами режимів

Стадія процесу	Параметри розподілу для часу імпульсів		Параметри розподілу для часу пауз	
	μ	σ	μ	σ
Початок оплавлення	- 4,92	0,156	- 4,48	0,529
Перехід до нагрівання опором	- 6,13	0,940	- 4,69	0,484
Усталене оплавлення: – оптимальний режим	- 4,62	0,334	- 5,24	0,382
– знижена швидкість	- 4,78	0,383	- 4,98	0,525
– знижена напруга	- 4,56	0,315	- 5,02	0,490
Осадка під струмом	- 6,13	0,940	- 4,69	0,484

Модель (рис. 3) дозволяє розрахунковим методом оцінити параметри процесу з урахуванням характеристик зварювального обладнання та електрофізичних характеристик заготовок. Модель побудовано для випадку проведення зварювання на машині із одним зварювальним трансформатором, без штучних зворотних зв'язків за енергетичними параметрами процесу. Результатом роботи моделі є осцилограма напруги на зварюваних деталях. У моделі враховано, що за будь-яких умов зварювання осцилограма повинна мати три етапи: зближення деталей при увімкненому джерелі зварювальної напруги (неробочий хід), процес оплавлення та осадки під струмом з урахуванням постійно діючих збурень. Модель складається з п'яти основних блоків: моделі блоку керування, силової частини зварювальної машини, блоку реєстрації параметрів, моделей живильної мережі та навантаження (рис. 3).

Блок *Three-Phase Source* (трифазне джерело напруги) є стандартним блоком, що входить до набору бібліотек *Simulink* [8], і являє собою джерело трифазної напруги з лінійною напругою 380 В і частотою 50 Гц. Блок дозволяє здійснювати регулювання внутрішнього активного опору і індуктивності. При моделюванні не враховували коливання частоти мережі, оскільки вони є достатньо малими (менше 2 %) і суттєво не впливають на роботу зварювальної машини.

Блок реєстрації параметрів *Measuring system* забезпечує вимірювання миттєвих значень напруги на деталях (блок *Load*) та зберігання масиву отриманих значень.

Блок *Control unit* (рис. 4) моделює блок керування тиристорним контактором. Він забезпечує подавання до силової частини машини імпульсів вмикання тиристорів із заданим зсувом за фазою та синхронізацію із мережею живлення. Модель побудовано на основі блоку *Synchronized 6-Pulse Generator*, що входить до набору бібліотек *Simulink*. Оскільки машини змінного струму промислової частоти для контактного стикового зварювання оплавленням розраховані на підключення до двох фаз, на виході блоку керування подано імпульси, синхронізовані з фазами *A* та *B*.

Блок *Welding machine* (рис. 5) є моделлю силової частини машини контактного стикового зварювання оплавленням. Силова частина складається з таких елементів: тиристорний контактор *VS1 – VS2*, силовий трансформатор *T1* та вторинний контур *Secondary circuit*.

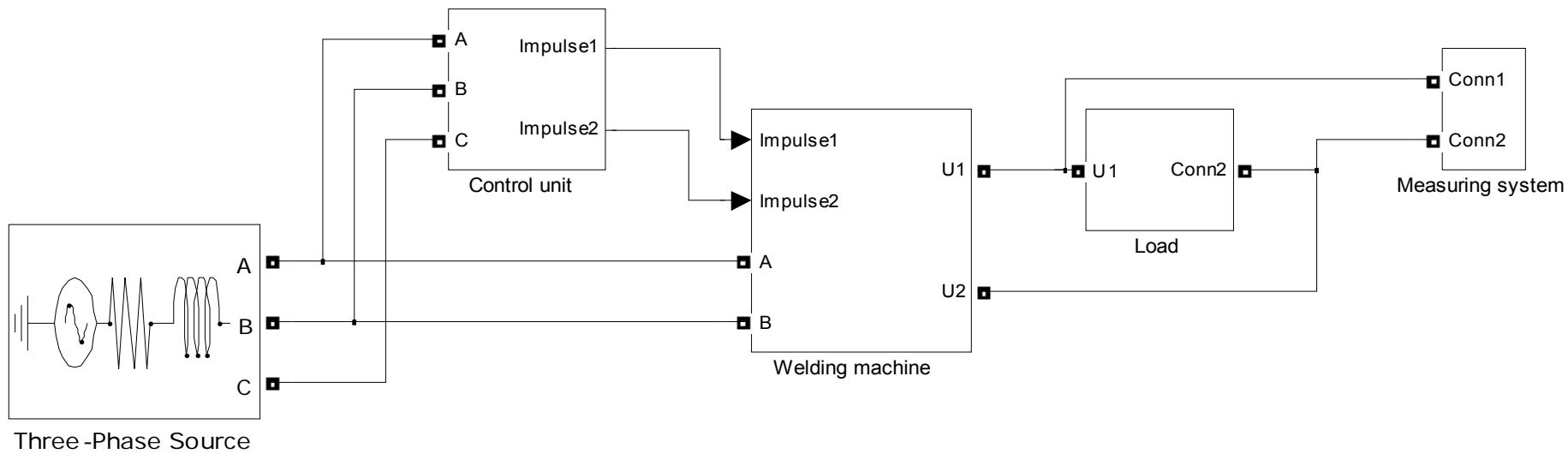


Рис. 3. Модель процесу контактного стикового зварювання безперервним оплавленням

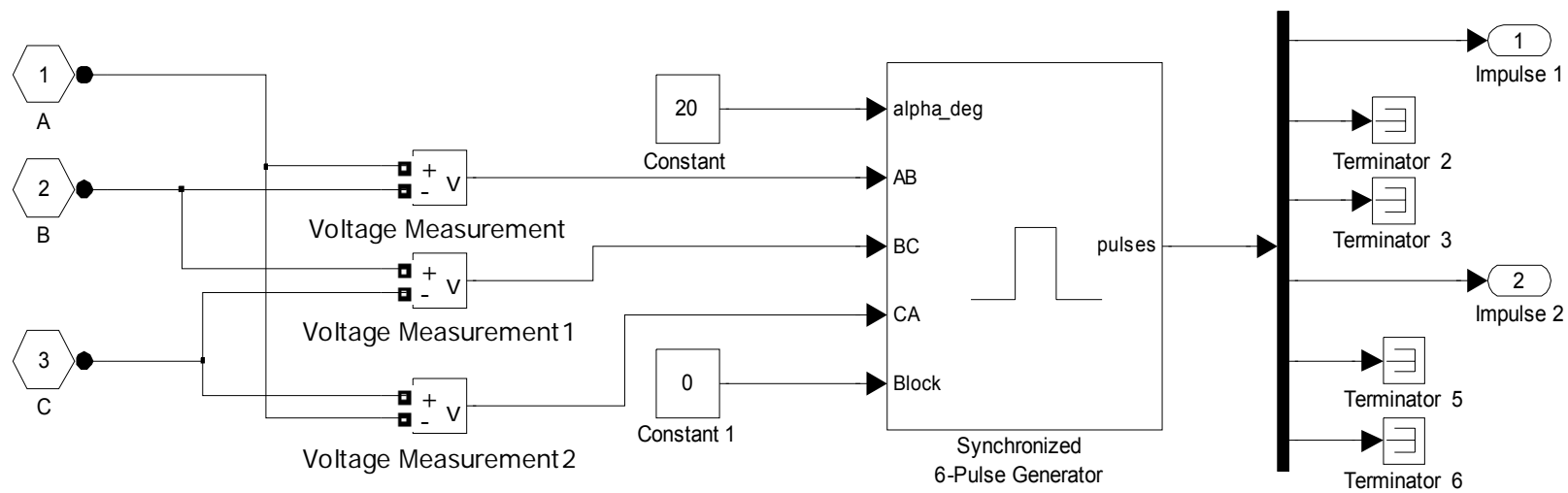


Рис. 4. Модель блоку керування тиристорним контактором

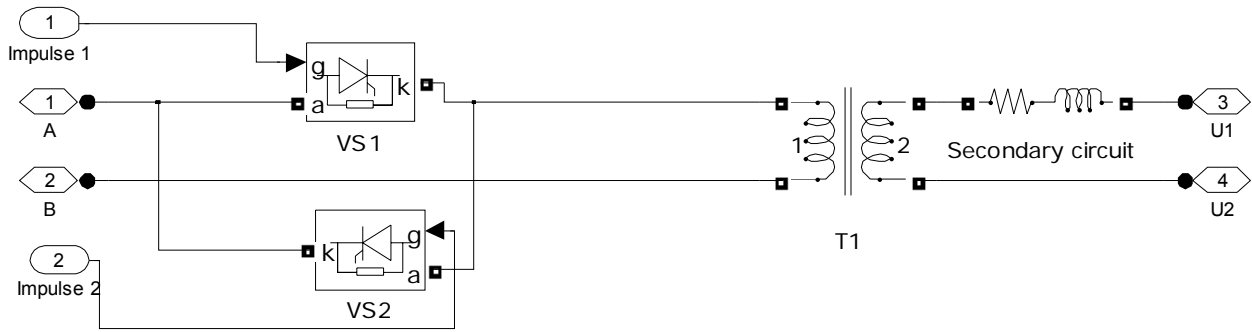


Рис. 5. Модель силовій частини машини контактної стикового зварювання безперервним оплавленням

Блок *T* є моделлю трансформатора з нормальним розсіянням. Для побудови моделі зварювального джерела живлення необхідними параметрами є максимальна потужність, активний опір і індуктивність первинної і вторинної обмоток трансформатора.

Вторинний контур машини змодельовано послідовною *RL*-ланкою, основні параметри якої задано відповідно до технічних характеристик машини.

Блок *Load* (навантаження) (рис. 6) відтворює модель зварюваних деталей. Модель складається із вильотів *R1*, іскрового проміжку під час оплавлення *Flash* та прошарку рідкого металу під час осадки під струмом *Upset*. Вильоти деталей у загальному випадку мають активну та реактивну складову опору, тому їх змодельовано послідовною *RL*-ланкою. Однак у випадку зварювання деталей невеликого перерізу із нормальною установчою довжиною реактивною складовою можна знехтувати. Опір вильотів залежить від зварюваного матеріалу і може бути обчислений аналітично або визначений експериментально.

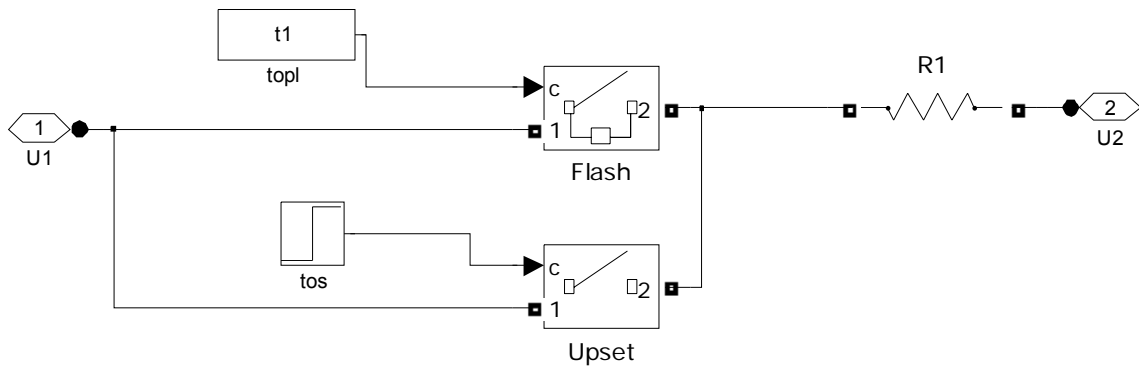


Рис. 6. Модель навантаження при контактному стиковому зварюванні безперервним оплавленням

Іскровий проміжок під час оплавлення змодельовано вимикачем, який має у замкненому стані значення опору, яке відповідає опорі елементарних контактів для заданих умов зварювання (площа та форма поперечного перерізу деталей, напруга неробочого ходу). Під час осадки під струмом процес оплавлення переходить у коротке замикання, тому опором деталей, окрім вильотів, можна знехтувати. У моделі це реалізовано за допомогою перемикача *Upset*, який шунтує іскровий проміжок на час осадки під струмом.

Моменти часу, у які замикаються та розмикаються контакти моделі рис. 6 обчислювали за допомогою вбудованих функцій пакету *Matlab* з урахуванням параметрів розподілу випадкової величини (табл. 1).

Для змодельованих сигналів (рис. 7) було визначено параметри розподілу для часу імпульсів та часу пауз. Коефіцієнт кореляції реальних і змодельованих параметрів становить не нижче 0,9, тобто адекватність моделі підтверджено.

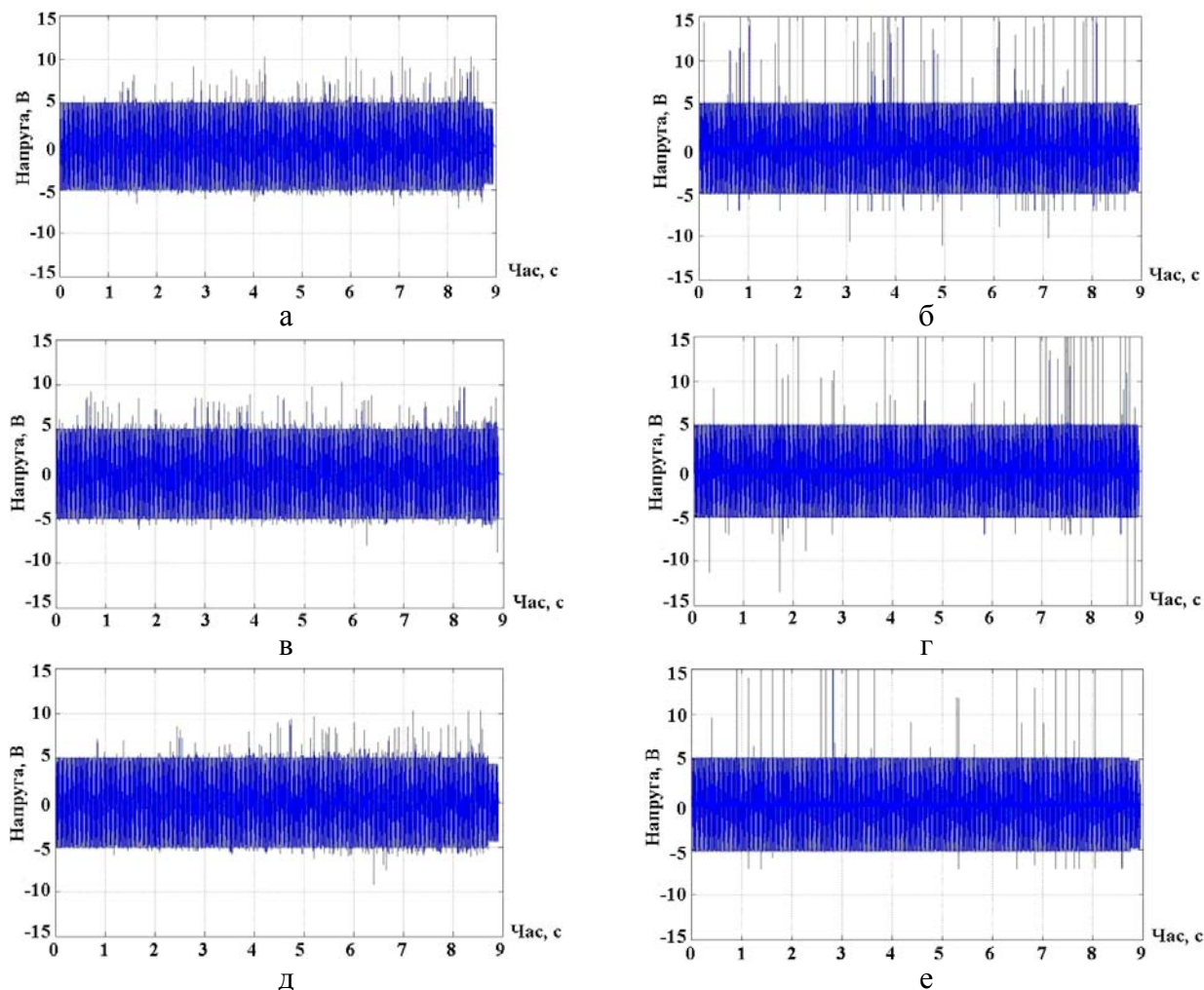


Рис. 7. Реальні осцилограми (а, в, д) та результати роботи моделі процесу контактного стикового зварювання безперервним оплавленням (б, г, е):

а, б – базовий режим; в, г – знижена швидкість; д, е – знижена напруга

ВИСНОВКИ

Розроблено модель контактного стикового зварювання безперервним оплавленням, яка дозволяє врахувати технічні характеристики зварювального обладнання та відхилення у ході іскровибухового процесу. Кореляція результатів роботи моделі із реальними процесами є задовільною.

Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку розробки математичної моделі, яка б дозволила виконувати обчислення необхідних коригувань параметрів режиму зварювання при переході від однієї машини до іншої.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением / С. И. Кучук-Яценко. – К. : Наукова думка, 1992. – 236 с.
2. Кочергин К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 216 с.
3. Оборудование для контактной сварки : справочное пособие / Под ред. В. В. Смирнова. – СПб : Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд.-е, 2000. – 848 с. : ил.
4. Технология и оборудование контактной сварки / М. Д. Баннов. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 224 с.
5. Chell A. R. An overview of object-oriented simulation / A. R. Chell, M. D. Yasser // Simulation. – 1998. – № 6. – P. 70–76.
6. Hu Feng A review of computer simulation of dynamic systems / Hu Feng, Sun Guo-ji // Computer simulation. – 2000. – № 1. – P. 1–7.
7. Yu Jian-rong Simulation of droplet transfer process and current waveform control of CO₂ arc welding / Yu Jian-rong, Wu Li-zhi // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2001. – Vol. 11, № 5. – P. 667–670.
8. Дьяконов В. Математические пакеты расширения MatLab / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб : Питер, 2001. – 480 с.