

*В.І.Гудим д.т.н. (Національний університет "Львівська політехніка"),
Т.Б.Юзьків к.т.н. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

Наведена узагальнена математична модель електричної дуги, яка сформована на основі рівняння динамічної вольт-амперної характеристики та рівняння балансу енергій, дозволяє здійснювати дослідження широкого класу задач, пов'язаних із дуговими процесами не лише технологічного, а й іншого походження.

Актуальність проблеми. Електрична дуга виникає під час розриву електричного струму, наприклад між контактами вимикачів чи контакторів, і характеризується концентрацією значної теплової енергії. Нестійкий контакт між провідниками чи провідником і землею під час коротких замикань є причиною виникнення електричної дуги, а дуга під час перегрівання та розтоплення провідників освітлювальних електричних мереж житлових та побутових споруд є часто причиною виникнення пожеж [1,2]. Разом з тим електрична дуга дугових сталеварних печей (ДСП) є основним джерелом технологічного тепла. Дослідження дуги ефективно здійснювати методами математичного моделювання, тому під час процесу симулювання доцільно є відобразити її найважливіші енергетичні характеристики [3]. Параметри електричних дуг, зокрема теплові, змінюються за випадковими законами і взаємопов'язані з електричними. Таким чином теплодинамічна модель дуги не повністю відображає її енергетичні процеси, як перетворювача електричної енергії у теплову, а її характеристика моделюється як усереднена без врахування змін миттєвого характеру електромагнітних процесів.

Постановка задачі. Вказані особливості поведінки дуги викликані зміною багатьох зовнішніх факторів (середовища, матеріалу електродів та ін.).

Врахування динаміки електричних параметрів дуги дозволяє успішно моделювати випадкові електромагнітні процеси в силовому електрообладнанні системи електропостачання електродугових агрегатів [4]. Розрахункова однолінійна схема заміщення такої системи наведена на рис 1, де від синусоїдної електрорушійної сили $e(t)$ через лінійні активний опір R і індуктивність L системи живиться електрична дуга, яка показана у вигляді нелінійного резистивного елемента $u_d(i_d)$.

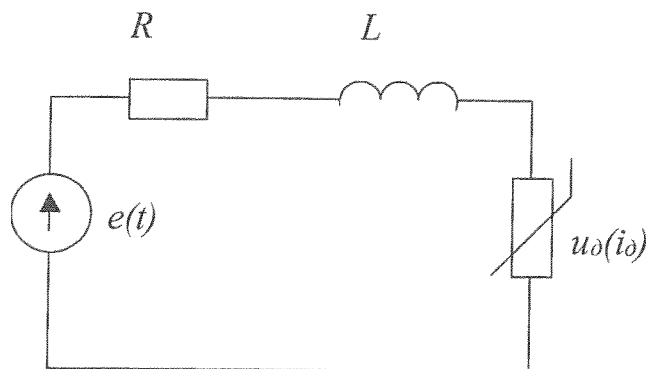


Рис.1. Розрахункова схема електродугового контура.

Розв'язання задачі. Експертна оцінка показує, що поєднання теплодинамічної та електродинамічної моделей із врахуванням закону зміни електричних параметрів дозволяє отримати кращі теплові характеристики дуг змінного струму.

Динамічна модель електричної дуги [5], отриманої на підставі повного рівняння енергії записується у вигляді:

$$\frac{\partial H(g)}{\partial g} \frac{dg}{dt} = \frac{i(t)^2}{g} - P_n(g) \quad (1)$$

де $H(g)$, $P_n(g)$ – ентальпія дуги та потужність втрат у провідності g стовпа дуги; $i(t)$ – миттєве значення струму дуги.

Ентальпія та потужність втрат у функції від провідності стовпа дуги апроксимуються поліномами [5], які мають вигляд :

$$\begin{aligned} H(g(i)) &= a_1 g^n(i) + a_0, \\ P_n(g(i)) &= b_1 g^m(i) + b_0. \end{aligned} \quad (2)$$

де a_1 , a_0 , b_1 , b_0 , n , m – коефіцієнти апроксимації теплофізичних та енергетичних характеристик дуги, які для конкретних печей та потужностей дуг набирають відповідних значень. Вони визначаються експериментально або за методикою, наведеною у [3]. Для більшості дуг, як показали розрахунки, $m=1$, а n набуває значень у межах від 0,5 до 0,55.

Електродинамічна модель дуги в загальному випадку може бути записана у вигляді динамічної вольт-амперної характеристики, параметри якої залежать від часу, а саме:

$$u_\delta(i_\delta) = U_m \left\{ \frac{A_1}{A_2 i_\delta^* + A_3 / i_\delta^*} + A_4 \operatorname{atg}(i_\delta^* / b) + A_5 |1 - i_\delta^*| \sin(2n\pi i_\delta^*) \right\} \quad (3)$$

де $i_\delta^* = i_\delta(t) / I_{\delta m}$ – відносне миттєве значення дуги; $i_\delta(t)$ – миттєве значення струму дуги, яке є функцією часу; $I_{\delta m}$ – амплітудне значення дуги на інтервалі певної технологічної стадії; A_1, \dots, A_5 , b - коефіцієнти апроксимуючої функції дуги, значення яких змінюються випадково за нормальним законом розподілу, причому b набуває значень у межах 0,25-0,45; U_m – найбільша величина напруги, значення якої для дуг різної потужності визначається експериментально.

Коефіцієнти апроксимуючої функції генеруються спеціально розробленим чи стандартним генератором псевдовипадкових чисел, наприклад RANDOM.

Динамічний опір дуги визначається як похідна напруги дуги за струмом, а обернена величина до нього є динамічною провідністю стовпа дуги змінного струму, яка одночасно залежить від струму та часу, і записується у вигляді:

$$g(i_\delta) = 1 / (du_\delta(i_\delta) / di_\delta) \quad (4)$$

На основі вище наведених рівнянь узагальнена електрогазодинамічна математична модель дуги змінного струму записується у вигляді системи алгебро-диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} u_\delta(i_\delta) &= U_m \frac{A_1}{A_2 i_\delta^* + A_3 / i_\delta^*} + A_4 \arctan(i_\delta^* / b) + A_5 |1 - i_\delta^*| \sin(2\pi i_\delta^*) \\ g(i_\delta) &= 1 / (du_\delta(i_\delta) / di_\delta) \\ H(g) &= a_1 g^n(i_\delta) + a_0 \\ P_n(g(i)) &= b_1 g^m(i_\delta) + b_0 \\ na_1 g^{n-1}(i_\delta) \frac{dg(i_\delta)}{dt} &= \frac{i_\delta^2}{g(i_\delta)} - P_n(g) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

У даному випадку сумісне розв'язання цих рівнянь дозволяє отримати одночасно як теплові, так і електричні характеристики дуги змінного струму, на підставі яких можна оцінити її енергетичні характеристики. При застосуванні генератора випадкових чисел для моделювання коефіцієнтів апроксимації, дана модель дозволяє також моделювати будь-яку

стадію технологічного процесу ДСП чи іншого електродугового агрегата змінного струму на миттєвому рівні i , відповідно, отримати їх найважливіші енергетичні характеристики.

Шляхом співставлення модельованих та експериментальних кривих струмів і напруг дуг для деяких типів ДСП, а також порівнянням гармонічного складу струмів дуг на певних технологічних стадіях, доказано адекватність отриманої математичної моделі, як генератора електромагнітних завад [4].

На рис.2 наведено графік миттєвого значення струму дуги однієї із фаз трифазної електродугової печі змінного струму ДСП-100 на стадії розтоплення металу, виражений у відносних одиницях до номінального значення, який отримано шляхом симулювання.

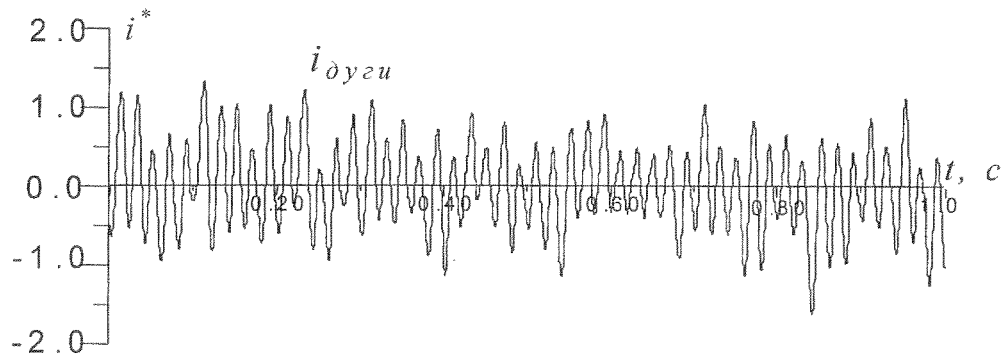


Рис. 2. Миттєвий струм дуги ДСП-100 на стадії розтоплення металу

Графік підтверджує, що струм дуги у цьому режимі характеризується широкою амплітудою, викликаною випадковими закороченнями електродів на шихту та обривами дуги і містить широкий спектр частот.

Для отримання енергетичних характеристик дуги чи електродугових агрегатів обчислюються діючі значення змодельованих струмів та напруг дуг, а також середнє значення їх потужностей.

Висновок

Отримана узагальнена математична модель дуги змінного струму у вигляді системи теплодинамічних та електромагнітних рівнянь дозволяє моделювати електромагнітні i , відповідно, теплодинамічні процеси із врахуванням випадкової зміни параметрів дуги, а також необхідні енергетичні характеристики дуг та електродугових агрегатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шадрін А.А., Коваль М.С. Профілактика пожеж в електроустановках. – Львів: Каменяр, 2001. – 532с.
2. Семочко Г.Ю., Юзьків Т.Б., Желавський В.Ф. Комплексне дослідження пожеж: Навчально-методичний посібник, рекомєнд. МВС України. — Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001.—80 с.
3. А.М. Кручинин, В.И. Пешехов, В.Н. Данилов, Е.С. Рязанов, Е.А. Светогорова. Расчет на ЭВМ динамики дуги переменного тока. Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов ВНИИЭТО//Под ред. И. И. Игнатова. – 1985. С. 44-49.
4. Гудым В.И. Моделирование динамических вольт-амперных характеристик дуг переменного тока./Изв. ВУЗов СССР – энергетика, №4. – 1988. – С. 41-44..
5. Расчет на ЭВМ динамики дуги переменного тока//А. М. Кручинин, В.И. Пешехов, В.Н. Данилов, Е.С. Рязанов, Е. А. Светогорова. Сборник научных трудов ВНИИЭТО «Математическое моделирование и расчёты ЭТО». – 1989. Москва, Энергоатомиздат. – С. 44-49.

*В.П. Бут (МНС України), В.М. Жартовський, д.т.н., професор, Ю.В. Цапко, к.т.н.,
О.Г. Барило, О.М. Слуцька (Український науково-дослідний інститут пожежної
безпеки)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ, ПРОСОЧЕНОЇ ВОГНЕЗАХИСНИМИ ЗАСОБАМИ

Наведено результати дослідження вогнезахисної ефективності антипіренів на основі фосфатів та сульфатів амонію для деревини, а також тривалості збереження ефективності вогнебіозахисту у часі та корозійної дії вогнезахисних засобів на кольорові метали.

На сьогодні найбільш розповсюдженим будівельним матеріалом традиційно залишається деревина та вироби з неї, але у зв'язку з підвищеною горючістю вона відноситься до пожежонебезпечних матеріалів. Ефективним способом зниження горючості деревини є просочення її водними захисними засобами.

Вогнезахист дерев'яних конструкцій здійснюється на об'єктах будівництва, виробництва, на транспорті, у громадських спорудах тощо. Згідно з вимогами будівельних норм та правил пожежної безпеки, вогнезахисній обробці піддаються матеріали та конструкції з деревини широкого спектра призначення: від несучих та огорожувальних конструкцій до горищних покриттів, настилів підлоги, оздоблення стін і стель [1].

Хімічний вогнезахист зводиться до введення в деревину сповільнювачів горіння (антипіренів) – речовин, що, впливаючи на кінетику піролізу дерев'яних матеріалів і зменшуючи при цьому швидкість утворення горючих летких продуктів, інгібують газофазні реакції в полум'ї і виключають безполумєневе горіння карбонізованого залишку. Однак всі аспекти вищенаведеного механізму досконало не визначені, до того ж з'явилися нові засоби вогнебіозахисту деревини, які мають принципову відміну від традиційних.

Для зниження горючості таких матеріалів як деревина, що містить у структурі гідроксильні групи, найбільш ефективними є фосфорвмісні сповільнювачі горіння, а також сполуки бору та галогеніди [2].

Аналізуючи технічні умови на водні розчини захисних засобів для деревини (ГОСТ 28815-90 [3]), можна відзначити, що як антисептики використовуються речовини I, II, III класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007 [4]. Так, пентахлорфенолят натрію (належить до I класу): речовина надзвичайно небезпечна, подразнює слизові оболонки верхніх дихальних шляхів і шкірні покриви. Біхромати натрію і калію (також належать до I класу): спричиняють місцеве подразнення шкіри і слизових оболонок; загальнотоксична дія проявляється в ураженні нирок, печінки, шлунково-кишкового тракту і серцево-судинної системи; ці речовини є канцерогенами. Фторид натрію, фторид амонію, біфторид-фторид амоній (належать до II класу): речовини високонебезпечні; подразнюють слизові оболонки верхніх дихальних шляхів, легенів, шлунка, шкірні покриви; в разі гострого отруєння головне значення має дія на центральну нервову систему і місцева дія на легені та шлунково-кишковий тракт; ці речовини справляють мутагенний вплив на організм.

Під час експлуатації на поверхні вогнезахисної деревини антипірени вогнезахисних засобів через короткий проміжок часу з деревини мігрують разом з вологою до поверхні, утворюючи аерогелі і висипаються з неї під впливом навколишньої атмосфери у вигляді аерозолів, що є головною причиною послаблення вогнезахисних властивостей. Тому кожного року проводиться повторне поверхнєве просочення деревини. До того ж, вогнебіозахисні засоби деревини, які утримують в своєму складі шкідливі речовини, стають небезпечними для навколишнього середовища.

В березні 2004 року у Комітеті з питань гігієнічного регламентування МОЗ України відбулася спільна нарада між представниками МОЗ України, Міністерства промислової політики України, Держспоживстандарту України, Державного департаменту пожежної