МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ПОЛІЧАСТОТНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ В РОБОЧІЙ ЗОНІ ЗВАРНИКА

О. Левченко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail для листування: levchenko.opcb@ukr.net

Отримано: 21 листопада 2020; Прийнято: 27 листопада 2020

Цитувати як: Левченко, О. (2020). Методологія визначення рівня полічастотного магнітного поля в робочій зоні зварника. *Проблеми охорони праці в Україні*, 36(4), 3–7.

Мета цієї роботи – створення методології визначення загального рівня полічастотного магнітного поля (МП) в робочій зоні зварника шляхом дослідження залежностей напруженостей його окремих гармонічних складових від електричної характеристики джерела МП і режимів зварювання. Дослідження залежностей рівнів МП від технологічних параметрів роботи машини контактної зварювання і відстані до неї здійснювали в широкому частотному діапазоні їх дії. Для експериментальних досліджень напруженості МП та їх спектральних діапазонів частот використовували індукційний датчик магнітного поля та цифровий запам'ятовуючий осцилограф з функцією швидкого перетворення Фур'є. На основі аналізу отриманих осцилограм і спектрограм МП встановлено форму та величину сигналів напруженості МП у різних частотних діапазонах. Оскільки для полічастотного МП неможливо кількісно оцінити його загальний рівень, враховуючи одночасно всі гармонічні складові МП, було запропоновано узагальнений показник рівня магнітного поля *MFI* (magnetic field indicator), що стало основою для його використання як методології оцінювання впливу МП на організм людини. Застосування запропонованої методології дозволило встановити, що при контактному точковому зварюванні в робочій зоні генерується МП з гармонічними складовими в діапазонах частот 5–50 та 50–1000 Гц, які можуть перевищувати їх гранично допустимі рівні, що відповідно призводить до підвищення показника *MFI*. Встановлено, що будь-які зміни режиму контактної точкової зварювання, в порівнянні з режимом зварювання однією пачкою повнофазних імпульсів зварювального струму, призводять до підвищення *MFI* більше гранично допустимого рівня на відстані до 800–1000 мм від осі точки торкання електродів зварювальної машини. Також моделювання переднього та заднього фронтів імпульсу дає можливість знизити *MFI*, а збільшення кута фазового регулювання режиму нагрівання підвищує його рівень. Запропонована методологія може бути універсальною як для гігієнічного оцінювання електромагнітної обстановки при дуговому зварюванні, так і для іншого електричного обладнання. Розроблена методологія дає можливість оцінювати загальний вплив полічастотного МП на організм людини. Вона базується на відомих законах електродинаміки з використанням нового узагальненого показника – рівня магнітного поля *MFI*.

Ключові слова: контактне зварювання, магнітне поле, осцилограма, спектрограма, режим зварювання, показник рівня магнітного поля.

METHODOLOGY OF DETERMINATION OF THE OF MULTIFREQUENCY MAGNETIC FIELD LEVEL AT WELDER'S WORKING ZONE

O. Levchenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

E-mail for correspondence: levchenko.opcb@ukr.net

Received: November 21, 2020; Accepted: 27 November, 2020

Cite as: Levchenko, O. (2020). Methodology of determination of the of multifrequency magnetic field level at welder's working zone. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 36 (4), 3–7.

The purpose of this work is to develop a methodology for determination of the total level of multifrequency magnetic field (MF) at the working area of welder by studying the dependences of the magnetizing force of its individual harmonic components to the electrical characteristics of the MF source and welding modes. The study was carried out at a wide frequency range of the MF action for the researching of dependences to MF technological parameters of the contact welding machine and the distance to it. An induction magnetic field sensor and a digital recording oscilloscope with a fast Fourier transform function were used for experimental studies of MF magnetizing force and their spectral ranges. Based on the analysis of the obtained MF oscillograms and spectrograms, the shape and magnitude of the MF magnetizing force signals in different frequency ranges were established. Since it is impossible to quantify the overall level for a multifrequency MF with taking into account all the harmonic components of the MF simultaneously, the generalized magnetic field level indicator (*MFI*) was proposed, which became the basis for its use as a methodology for the assessment of MF impact on human body. The use of the proposed methodology allowed to establish that it is generated MF with harmonic components in the frequency ranges 5-50 and 50-1000 Hz at working area under contact spot welding, which may exceed their maximum allowed levels, leading to the respective increase of *MFI* level. It was established that any changes in the mode of contact spot welding, compared to the mode of welding with one batch of full-phase pulses of welding current, lead to the increase in *MFI* with exceeding of maximum allowed level at a distance of 800-1000 mm from the axis of contact welding machine electrodes; modelling of the front and trailing edges of the pulse lead to the reduction of *MFI* level, while increasing the angle of phase control of the heating mode leads to the increase of *MFI* level. The proposed methodology can be applied as universal both for hygienic assessment of the electromagnetic environment during arc welding and for other electrical equipment. The developed methodology gives possibility to assess the overall impact of multifrequency MF on human body. It is based on the known laws of electrodynamics using a new generalized indicator - magnetic field level indicator *MFI*.

Keywords: contact welding, magnetic field, oscillogram, spectrogram, welding mode, magnetic field level indicator.

1. Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широке впровадження контактної зварювання в автомобільній, авіаційній, будівельній та інших галузях

промисловості України привело до створення великого парку електричного обладнання і зварювальних машин (здебільшого змінного струму 50 Гц) різних типів та призначення потужністю більше десятків і сотень кВт. Під

час експлуатації цього обладнання на робочих місцях зварників (операторів контактного зварювання) генеруються магнітні поля (МП) значної напруженості, які багаторазово перевищують гранично допустимі рівні та можуть призводити до негативних функціональних змін в організмі людини, діючи на серцево-судинну, нервову, статеву, ендокринну та інші системи [1]. Тому питання шкідливого впливу МП на організм людини і, зокрема, операторів контактного зварювання на сьогодні залишається актуальним [2]. У закордонних публікаціях [3, 4] відзначається, що зварники – це одна з груп робітників, які піддаються дії електромагнітних полів (ЕМП) значної інтенсивності. Залежно від способу зварювання та обладнання, що використовується для зварювання, режимів і відстані зварника від джерела МП його рівень може суттєво перевищувати гранично допустимі рівні (ГДР) в різних діапазонах частот. Проте докладні дослідження з цих проблемних питань не проводились. Це пояснюється, по-перше, відсутністю адекватних наукових уявлень про джерела МП (якими складовими частинами електрозварювального обладнання вони генеруються), форму їх сигналів та просторове поширення, і, по-друге, відсутністю єдиних нормативних документів в різних країнах та відповідних методик.

Головною проблемою визначення загального рівня МП є концептуальний підхід до методології оцінювання його загального впливу з урахуванням усіх частотних діапазонів. Так, донедавна в гігієнічній практиці інтенсивність МП нормувалась згідно чинним нормам тільки на частоті 50 Гц [5]. У 2002 році в Україні набрав чинності новий нормативний документ – ДСН 3.3.6.096-2002 [6], що регламентує умови безпеки праці при роботі з постійними МП; постійними МП, що створюються випрямленим трифазним струмом; змінними МП частотою 50 Гц та імпульсними ЕМП у спектральному діапазоні частот від 0 до 1000 МГц. Тому виникла необхідність у вимірюванні й оцінюванні сигналів МП з урахуванням їхнього спектрального складу. Останнє тільки ускладнює методику визначення рівнів цих МП та оцінку їх дії на організм людини. І, як показали наші дослідження, таку методику можна створити на основі експериментальних досліджень і теоретичних узагальнень щодо полічастотних МП. Для цього необхідно мати спеціальні прилади для визначення напруженості МП в усіх нормованих діапазонах частот і відповідні методики.

2. Постановка завдання та його вирішення.

Метою цієї роботи є створення методології визначення загального рівня полічастотного МП шляхом дослідження залежностей напруженостей його окремих гармонічних складових від електричної характеристики джерела МП (машини контактної точкового зварювання) і режимів зварювання (модуляції зварювального струму та зміни кута його фазового регулювання). Для цього досліджували залежності рівнів МП у повному частотному діапазоні їх дії від технологічних параметрів роботи машини контактної зварювання, що їх створює, та відстані до неї.

Для експериментальних досліджень напруженості МП та їх спектральних діапазонів частот у робочій зоні використовували індукційний датчик магнітного поля ДМП-1 та цифровий запам'ятовуючий осцилограф TDS 1002 з функцією швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Вимірювання індукції МП виконувались у лабораторії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона

НАН України на типовому робочому місці оператора контактної зварювання в трьох взаємно перпендикулярних площинах. Вимірювальний датчик розміщувався на відстані 200, 400 і 600 мм від осі точки торкання електродів (L) ± 2 мм та з боку від машини. Вимірювання здійснювалось на рівні живота оператора-зварника – 1000 мм від підлоги.

Контактне точкове зварювання виконувалось стаціонарною машиною марки МТ-2202 загального призначення на змінному струмі з постійним зусиллям стискання одним або декількома імпульсами струму деталей з низьковуглецевих сталей. Характеристика машини: напруга живлення – 380 В, максимальний вторинний струм – 22 кА, споживча потужність – 40 кВА. Трансформатор машини має чотири ступені регулювання потужності, кожна наступна з яких збільшує потужність на 25 %. Для з'єднання деталей застосовують різні прийоми точкового зварювання за допомогою двох електродів з двостороннім підведенням модульованого імпульсного струму. Необхідна величина зварювального струму встановлювалась зміною форми його синусоїди методом регулювання кута фазового зсуву α між струмом і напругою холостого ходу трансформатора за допомогою тиристорів.

Для дослідження характеристик МП розглянемо форму сигналів зварювального струму джерела живлення машини контактної зварювання, які відповідно впливають і на форму сигналів МП. Осцилограми зварювального струму (зміна сили струму $I_{\text{зв}}$ з часом t) цих машин представлені на рисунку 1: а) одноімпульсне; б) двоімпульсне; в) триімпульсне; г) одноімпульсне з модуляцією переднього фронту; д) одноімпульсне з модуляцією заднього фронту; е) одноімпульсне з модуляцією переднього та заднього фронтів. Найбільш розповсюджена форма кривої зварювального струму, яка призначена для зварювання деталей зі звичайної низьковуглецевої сталі товщиною 0,5–2 мм, представлена на рисунку 1, а. Для такої ж сталі, але більшої товщини (3–6 мм), корисна модульована крива струму – на рис. 1, г. Залежно від властивостей металів використовують модуляцію зварювального струму заднього фронту (рисунок 1, д), модуляцію переднього та заднього фронтів струму (рис. 1, е). Для сталей великої товщини (до 15–20 мм) слід рекомендувати криву струму, наведену на рисунку 1, б. Тут початковий період нагрівання іде з відносно меншою силою струму, ніж процес кінцевого зварювання. Як амплітуда струмів підігрівача $I_{\text{пд}}$ та зварювання $I_{\text{зв}}$, так і їх час можуть регулюватися в широких межах. Триімпульсне вмикання струму, подане на рисунку 1, в, досить ефективне при зварюванні погано зачищених деталей великої товщини. Ця система нагрівання добре підходить і для зачищених деталей, але великих габаритних розмірів, наприклад, балок і ферм, коли конструктивна міцність не дозволяє негайне надійне контактування в зоні зварного з'єднання. При імпульсному зварюванні (рисунок 1, б, в) також використовують принцип подачі першого підігрівача імпульсу та другого зварювального. Основний та додатковий імпульси струму мають незалежне регулювання за амплітудою і можуть подаватися з паузою або без неї. Основний імпульс має модуляцію переднього фронту $t_{\text{ф}} = 0,025$ с, $t_{\text{зв}} = (0,03–0,07)$ с (рисунок 1, г).

У машинах контактної зварювання різних видів зварювальний струм має перервно-імпульсний характер, його амплітуда вимірюється в межах від одиниць до сотень кА, тривалість протікання струму – від 0,002 с до 30 с, тривалість пауз – від 0,020 с і більше. При цьому електричний струм створює в навколишньому середовищі

МП з відповідними характеристиками, які можуть багатократно перевищувати нормативні значення.

Рисунок 1 – Осцилограми зварювального струму контактної точкової зварювання

Гранично допустимий рівень (ГДР) напруженості імпульсних ЕМП у спектральному діапазоні частот від 0 до 1000 МГц на робочих місцях операторів-зварників відповідно до ДСН 3.3.6.096-2002 [6] визначається з допустимого енергетичного навантаження та часу впливу за формулою (1)

$$H_{ГД} = \sqrt{\frac{EH_{ГД}}{T}}, \quad (1)$$

де $H_{ГД}$ – гранично допустиме значення напруженості магнітного поля (А/м); $EH_{ГД}$ – гранично допустиме значення енергетичного навантаження протягом робочого дня, (А/м)²-год; T – час дії, год.

Оскільки напруженість МП однієї з гармонік може бути більшою від ГДР, а іншої меншою, об'єктивно оцінити загальне енергетичне навантаження МП на організм операторів контактної зварювання, враховуючи одночасно всі гармонічні складові МП, неможливо. Тому для діапазону частот ≤ 300 МГц, в яких працюють джерела МП і для яких встановлено різні ГДР, необхідно дотримуватися таких вимог [6]:

$$\frac{H_1^2}{H_{ГД1}^2} + \frac{H_2^2}{H_{ГД2}^2} + \dots + \frac{H_n^2}{H_{ГДn}^2} \leq 1, \quad (2)$$

де H_1, H_2, H_n – фактична напруженість МП у різних діапазонах частот, А/м; $H_{ГД1}, H_{ГД2}, H_{ГДn}$ – гранично допустимий рівень у відповідних діапазонах частот, А/м.

Це ж стосується і гармонічних складових МП одного джерела випромінювань. Тому, позначивши суму співвідношень виразу (2) як MFI (magnetic field indicator), його можна представити у вигляді:

$$MFI = \sum \frac{H_n^2}{H_{ГДn}^2} \leq 1. \quad (3)$$

Отже, якщо це співвідношення перевищує одиницю, то воно показує, у скільки разів рівень МП перевищує нормативне значення енергетичного навантаження МП на організм оператора-зварника і є не чим іншим як узагальнений показник рівня магнітного поля (MFI).

Таким чином, якщо $MFI > 1$, загальний рівень полігармонічного МП перевищує ГДР, то на робочих місцях повинні застосовуватись відповідні заходи захисту операторів контактної зварювання, які б забезпечували безпечні умови праці.

Згідно з ДСН 3.3.6.096-2002 для діапазону частот ≤ 300 МГц встановлено 8 спектральних ділянок (піддіапазонів) частот (0–5, 5–50 Гц, 0,05–1, 1–10, 10–60 кГц, 0,06–3, 3–30, 30–300 МГц) з відповідними ГДР [6]. Експериментально ж при контактному точковому зварюванні було виявлено характерні гармоніки МП тільки в ділянках частот 5–50 та 50–1000 Гц. Тому в роботі виконувалось сумування співвідношень

встановлених напруженостей МП до їх ГДР лише для визначених гармонік МП за формулою (3), для яких регламентовано відповідні ГДР для восьмигодинної робочої зміни – 1400 та 94 А/м. З чого видно, що гармоніки діапазону 50–1000 Гц майже в 15 раз жорсткіші (небезпечніші) ніж 5–50 Гц, оскільки створюють більше енергетичне навантаження на організм людини.

На першому етапі досліджень за допомогою осцилографа з функцією швидкого перетворення Фур'є визначали спектральний склад МП – залежність амплітудного значення МП (U , мВ) від частоти (f , Гц) і аналізували отримані спектрограми (рис. 2). Так, їх аналіз (на прикладі МП, отриманого під час контактної точкової зварювання одним імпульсом зварювального струму з фазовим регулюванням тиристорного контактора $\alpha \approx 45^\circ$) показав, що для цього процесу характерні такі закономірності. Форма зварювального струму у вигляді короткої пачки (пачок) синусоїдальних імпульсів – відрізків синусоїди (див. рис. 1) має перехідний характер (проміжний між дискретним і суцільним). У діапазонах частот 5–50 та 50–1000 Гц було зафіксовано наявність гармонік МП (рисунок 2), які визначають проблеми електромагнітної безпеки цього способу зварювання. На спектрограмі наведено залежність амплітудних значень МП U , вимірених у мВ, від їх частоти f . Визначення напруженості МП здійснювалось шляхом перерахунку мВ у А/м за каліброваною шкалою.

На другому етапі роботи вимірювали амплітуди всіх реально існуючих гармонік МП цих спектрів частот, розраховували їх сумарне значення у вигляді MFI , порівнювали з одиницею і будували графічні залежності цього показника на різних режимах зварювання від відстані до осі точки торкання електродів машини МТ-2202. Таким чином, кратність перевищення MFI показує, у скільки разів повинна бути скорочена тривалість виконання зварювання оператором протягом робочої зміни згідно з установленими нормами, або – необхідний ступінь його екранування.

Режими при точковому зварюванні можна вважати досить різноманітними з огляду на отримувані спектри МП, що мають значний вплив на його склад залежно від кількості імпульсів у пачці і кількості пачок (до трьох: підігрівальний, зварювальний і відпалювальний). Ще більш значимим фактором, що визначає амплітуди гармонік спектра МП, є величина зварювального струму, тобто показники потужності режиму обумовлені ступенем регулювання зварювального трансформатора. Фазове регулювання тиристорних контакторів зварювального струму має значний вплив на магнітну обстановку в робочій зоні і призводить до її різкого погіршення. У

цьому випадку спектр МП зміщується вправо з основною

гармонічною складовою 100 Гц.

Рисунок 2 – Спектрограма МП контактного точкового зварювання

На рисунку 3 представлено сумарне значення рівнів МП у вигляді залежностей MFI від відстані до осі точки торкання електродів зварювальної машини МТ-2202 і параметрів режиму зварювання на робочому місці оператора контактного зварювання. Так, крива 1, отримана при зварюванні однією пачкою з 10 синусоїдальних повнофазних імпульсів зварювального струму частотою 50 Гц з модуляцією переднього та задніх фронтів (по одному напівперіоду) на 1-му (мінімальному)

ступені трансформатора; 2 – те ж саме на 4-му (максимальному) ступені потужності (від 1 до 4 ступеня). З графіків видно, що для режиму, який розглядаємо, можливі значення MFI на відстані від осі точки торкання електродів $L=200$ мм за формулою (3) перевищують одиницю (пряма 7) і мають проміжні значення. На відстані $L=400$ мм ці значення не перевищують допустимих. Зазначимо, що при зменшенні тривалості пачки імпульсів MFI збільшується.

Рисунок 3 – Залежність показника рівня МП MFI від відстані L до осі точки торкання електродів машини контактного зварювання на різних режимах (опис режимів зварювання наведено в тексті статті)

Результати досліджень показали, що встановлення кута фазового регулювання нагрівання $\alpha=45^\circ$ (крива 3) на відстані $L=200$ мм призводить до збільшення MFI в 1,6 раза у порівнянні з режимом 1 (1-й ступінь потужності) на відстані $L=400$ мм – у 3 рази, що відповідає режиму зварювання повнофазними імпульсами на 4-му ступені потужності, а для відстані $L=600$ мм MFI перевищує допустиме значення. Зварювання на режимі $\alpha=90^\circ$ (крива 4 на 3-му і 4-му ступенях потужності) результат аналогічний попередньому з деяким збільшенням значень MFI . Це пояснюється тим, що зі збільшенням кута фазового регулювання зростає величина зварювального струму, що і призводить до підвищення MFI .

Як видно з графіка, збільшення кута фазового регулювання $\alpha=120^\circ$ (крива 5) та $\alpha=140^\circ$ (крива 6) при зварюванні на 4-му ступені потужності призводить до подальшого збільшення MFI . На відстані $L=200$ мм величина MFI нижча, ніж для 4-го контрольного ступеня режиму зварювання (крива 2), при $L=400$ мм – перевищує значення контрольного режиму для 1-го ступеня

регулювання в 4–5 раз, а при $L=600$ мм – 2–3 рази для 4-го ступеня регулювання і приблизно у 2 рази перевищує допустиме значення.

3. Обговорення результатів

У результаті обробки отриманих експериментальних залежностей MFI від відстані до осі торкання зварювальних електродів та режиму зварювання методом множинної регресії за допомогою програми Microsoft Office Excel 2007 були отримані відповідні рівняння для різних режимів зварювання на машинах контактного зварювання. Регресійний аналіз отриманих кривих показав, що ці залежності у загальному випадку відповідають функціям

$$P = K/L^{2,5 \pm 3,82}, \quad (4)$$

де P – MFI , K – коефіцієнт пропорційності, L – відстань від машини до точки вимірювання.

Тобто, отримані графічні залежності близькі до обернено пропорційних кубічних, що свідчить про подібність магнітних полів, які виникають при контактному точковому зварюванні, до типових ідеальних МП.

Виконані дослідження показали, що будь-які зміни режиму зварювання, в порівнянні з режимом зварювання однією пачкою повнофазних імпульсів зварювального струму, призводить до збільшення *MFI* на робочому місці оператора контактної зварювання, яке за певних умов (залежно від режиму зварювання та відстані до джерела МП) може перевищувати одиницю (> 1) як нормативне значення.

Висновки

1. Уперше виконано експериментальні дослідження залежності напруженостей полічастотного магнітного поля (МП), що створюється типовою машиною контактної точкової зварювання МТ-2202, від відстані до точки зварювання.

2. Запропоновано методичні підходи до кількісного оцінювання впливу МП на організм зварника. Отримані результати досліджень дозволили визначити рівні МП в усіх нормованих діапазонах частот і, таким чином, урахувати вплив кожного з них на загальний рівень МП. Запропоновано новий узагальнений показник рівня МП – *MFI*, що дає підставу для його використання як основи методології оцінювання впливу МП на організм людини.

3. Застосування запропонованої методології дозволило встановити такі закономірності:

- показано, що при контактному точковому зварюванні в робочій зоні генерується МП з гармонічними складовими в діапазонах частот 5–50 та 50–1000 Гц, які можуть перевищувати їх гранично допустимі рівні, що відповідно призводить до підвищення показника *MFI*;

- встановлено, що будь-які зміни режиму контактної точкової зварювання, в порівнянні з режимом зварювання однією пачкою повнофазних імпульсів зварювального струму, призводять до підвищення *MFI* більше гранично допустимого рівня на відстані до 800–1000 мм від осі точки торкання електродів зварювальної машини; модулювання переднього та заднього фронтів імпульсу дає можливість знизити *MFI*, а збільшення кута фазового регулювання режиму нагрівання підвищує його рівень.

Висловлення вдячності.

Автор висловлює подяку співробітникам Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона за надану можливість проведення експериментальних досліджень у лабораторних умовах інституту.

Конфлікт інтересів

У автора немає потенційних конфліктів інтересів, пов'язаних з цим дослідженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левченко, О. Г., Полукаров О. І. (2014). Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. Київ: Основа, 352.
2. Левченко, О. Г. (2017). Контроль електромагнітних випромінювань при контактному зварюванні. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: Зб. мат. сімнадцятої Всеукраїнської наук.-метод. конф. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 112–122. URL: <http://opcb.kpi.ua>.
3. Bourton, M. (1995). A review of arc welding and electro-magnetic compatibility. IIW Doc. VIII-G100-95, 3.
4. Krzyztof Stefaniszy. (2003). Zagrozenia elektromagnetyczne w spawalnictwie. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 2, 39–44.
5. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц. (1986). Москва, № 3206-85, 7.
6. ДСН 3.3.6.096-2002. (2002). Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Вид. офіц. Київ: МОЗ, 16.

REFERENCES

1. Levchenko, O. G., Polukarov O. I. (2014). Okhorona pratsi u zvaryuval'nomu virobnytstvi: Navchal'nii posibnik. Kiïv: Osnova, 352.
2. Levchenko, O. G. (2017). Kontrol' elektromagnitnikh viprominyuvan' pri kontaktному zvaryuvanni. Problemi okhoroni pratsi, promislovoï ta tsivil'noi bezpeki: Zb. mat. simnadsyatoï vseukraïns'koï nauk.-metod. konf. Kiïv : KPI im. Igorya Sikors'kogo, 112–122. URL: <http://opcb.kpi.ua>.
3. Bourton, M. (1995). A review of arc welding and electro-magnetic compatibility. IIW Doc. VIII-G100-95, 3.
4. Krzyztof Stefaniszy. (2003). Zagrozenia elektromagnetyczne w spawalnictwie. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 2, 39–44.
5. Predel'no dopustimye urovni magnitnykh polei chastotoi 50 Gts. (1986). Moskva, № 3206-85, 7.
6. DSN 3.3.6.096-2002. (2002). Derzhavni sanitarni normi i pravila pri roboti z dzherelami elektromagnitnikh poliv. Vid. ofits. Kiïv: MOZ, 16.

О. Левченко

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ПОЛИЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СВАРЩИКА

Цель этой работы – создание методологии определения общего уровня поличастотного магнитного поля (МП) в рабочей зоне сварщика путем исследования зависимостей напряженностей его отдельных гармонических составляющих от электрической характеристики источника МП и режимов сварки. Исследование зависимостей уровней МП от технологических параметров работы машины контактной сварки и расстояния до нее осуществляли в широком частотном диапазоне их действия. Для экспериментальных исследований напряженности МП и их спектральных диапазонов частот использовали индукционный датчик магнитного поля и цифровой запоминающий осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье. На основе анализа полученных осциллограмм и спектрограмм МП установлена форма и величина сигналов напряженности МП в различных частотных диапазонах. Поскольку для поличастотных МП невозможно количественно оценить его общий уровень, учитывая одновременно все гармонические составляющие МП, был предложен обобщенный показатель уровня магнитного поля *MFI* (magnetic field indicator), что стало основой для его использования в качестве методологии оценки влияния МП на организм человека. Применение предложенной методологии позволило установить, что при контактной точечной сварке в рабочей зоне генерируется МП с гармоническими составляющими в диапазонах частот 5–50 и 50–1000 Гц, которые могут превышать их предельно допустимые уровни, что соответственно приводит к повышению показателя *MFI*. Установлено, что любые изменения режима контактной точечной сварки, по сравнению с режимом сварки одной пачкой полнофазных импульсов сварочного тока, приводят к повышению *MFI* больше предельно допустимого уровня на расстоянии до 800–1000 мм от оси точки касания электродов сварочной машины. Также моделирование переднего и заднего фронтов импульса позволяет снизить *MFI*, а увеличение угла фазового регулирования режима нагрева повышает его уровень. Предложенная методология может быть универсальной как для гигиенического оценки электромагнитной обстановки при дуговой сварке, так и для другого электрического оборудования. Разработанная методология позволяет оценивать общее воздействие поличастотных МП на организм человека. Она базируется на известных законах электродинамики с использованием нового обобщенного показателя – уровня магнитного поля *MFI*.

Ключевые слова: контактная сварка, магнитное поле, осциллограмма, спектрограмма, режим сварки, показатель уровня магнитного поля