

ГІГІЄНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНІТНИХ ПОЛІВ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

О.Г. Левченко¹, Ю.О. Полукаров¹, О.М. Гончарова², О.М. Безушко²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

²ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: olgapaton60@ukr.net

Визначено рівні та спектральний склад магнітних полів, що створюються обладнанням дугового зварювання різними способами, з метою оцінювання їх впливу на організм зварників. Виконано аналіз літературних даних щодо електромагнітної безпеки електродугового зварювання. Наведено опис запропонованих методичних підходів до визначення рівнів магнітних полів, засобів їх вимірювань та методів оцінки їх впливу на організм зварника. Охарактеризовано сучасні нормативи щодо оцінки дії електромагнітного поля на людину, їх відмінність від нормативів, що діяли раніше. Показано, що останнім часом почали з'являтися нові публікації про шкідливість електромагнітних полів при використанні електричного виробничого обладнання. Тому виникла необхідність у проведенні нових досліджень електромагнітних полів, зокрема, їх магнітної складової (напруженості магнітного поля, А/м) при використанні зварювального обладнання. Це необхідно для гігієнічного оцінювання магнітних полів та розроблення відповідних методів і засобів захисту зварників. Для цього необхідно було вибрати прилади нового покоління для визначення напруженості магнітних полів, що створюються саме зварювальним обладнанням. На основі аналізу отриманих осцилограм та спектрограм магнітних полів виконано оцінку їх рівнів при застосуванні різних способів дугового зварювання. Показано, що спектральний склад сигналу магнітного поля визначається, переважно, самим способом зварювання, особливостями горіння дуги і характером переносу електродного металу в дуговому проміжку, а також вихідними параметрами джерел живлення зварювальної дуги. Бібліогр. 10, табл. 5, рис. 3.

Ключові слова: дугове зварювання, електромагнітне поле, напруженість поля, осцилограми, спектрограми, захист зварників

Вступ. Зварювальному виробництву властиво постійне збільшення об'єму застосування електричної та електронної апаратури, експлуатація якої супроводжується генеруванням підвищених рівнів електромагнітних випромінювань [1, 2], шкідливих, і, у певних випадках, небезпечних для організму людини. Тому особлива увага приділяється питанням електромагнітної безпеки виробничого та побутового обладнання, дії електромагнітних полів (ЕМП) на людину [3–5], а також створенню відповідних заходів та засобів захисту від них.

Особливої уваги потребують невирішені питання шкідливого та небезпечного впливу ЕМП на організм зварника [1], оскільки саме зварники – це одна з груп робітників, які піддаються дії ЕМП великої інтенсивності, особливо, коли вони розташовуються близько до зварювального обладнання і при прямому контакті кабелів з їх тілом [2, 6]. В залежності від способу зварювання, виду зварювального обладнання і відстані до нього робітника рівні магнітної складової ЕМП, тобто напруженість магнітних полів (МП), може перевищувати гранично допустимі рівні та можуть бути небезпечними для організму людини.

Основними джерелами МП є сильно навантажені ланцюги, а особливо зварювальний контур. Амплітудне значення напруженості МП на робочому місці зварника залежить від зварювального струму, розмірів і форми зварювального контуру, а також від

відстані між робочим і джерелом поля [7]. Робота електричного обладнання для дугового зварювання супроводжується генеруванням МП високих рівнів, переважно, у наднизькому діапазоні частот [6], що створює певну небезпеку для зварників. Так, у роботі [2] представлено результати вимірювань рівнів МП на робочому місці зварювання методом МАГ (металевим електродом в активному газі) відповідно з діючою європейською Директивою 2013/35/ЄС [3]. Отримані результати рівнів МП у смузі частот від 5 Гц до 400 кГц показали, що вони суттєво перевищують рівні МП, що створюються іншими видами електричного обладнання. Це пояснюється тим, що при дуговому зварюванні застосовуються відносно високі електричні струми (до кількох сотень ампер). У роботі [2] для досліджень впливу МП на зварника вимірювали його рівень на робочих місцях за допомогою трьохосового магнітометра Холла, прикріпленого до зап'ястя руки зварника, тобто у найближчому положенні до джерела МП (біля кабелю джерела струму). Результати вимірювань показали, що магнітна індукція МП у цій точці становила 1,49 мТл, що дещо нижче гранично допустимого рівня (ГДР) за нормативами ДСН 3.36.096-2002 [8] (1,75 мТл для восьмигодинної робочої зміни).

Слід зауважити, що старі санітарні норми [9], що діяли до 2002 р., регламентували МП тільки на частоті 50 Гц. Нові ж українські норми [8] враховують весь діапазон частот, характерний для

Левченко О.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-9737-7212>, Полукаров Ю.О. – <https://orcid.org/0000-0002-6261-3991>, Гончарова О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-5213-6300>, Безушко О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-6148-1675>

© О.Г. Левченко, Ю.О. Полукаров, О.М. Гончарова, О.М. Безушко

зварювальних процесів, і всі необхідні чинники: частоту, напруженість і час дії МП на організм людини. Це дає можливість дати їх об'єктивну гігієнічну оцінку на організм людини.

Попередні публікації про МП були отримані за застарілими методиками і не дають адекватного уявлення про дію МП. Зараз почали з'являтися деякі нові публікації про шкідливість ЕМП при використанні побутової техніки і відсутні дані про ЕМП при зварюванні. Це пояснюється відсутністю відповідних приладів, які б дозволили фіксувати рівні магнітного поля, характерні саме для зварювального обладнання (не на рівні мкТл, а, переважно, на рівні мТл). Тому виникла необхідність у проведенні нових досліджень МП (напруженості магнітного поля, А/м) при використанні як існуючого, так і нового зварювального обладнання. Такі дослідження необхідно виконати в широких діапазонах частот на робочих місцях при застосуванні різних видів зварювання. При цьому слід врахувати вплив на рівень і частоту МП особливостей способів зварювання, відстані робочого місця зварника до джерела МП і час його перебування в зоні небезпечної дії. Такі дані необхідні для розроблення методів і засобів захисту від МП.

Метою даної роботи є дослідження напруженості магнітних полів при різних способах дугового зварювання для їх гігієнічного оцінювання у відповідності з новими нормативами.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- визначити оптимальні умови проведення експериментів щодо визначення напруженості МП, що створюються зварювальним обладнанням;
- визначити допустимий час роботи зварника в зоні з підвищеним рівнем МП;
- дати гігієнічну оцінку МП у відповідності з новими нормативами для подальшого розроблення рекомендацій із захисту зварників від МП.

Методика досліджень. Оцінка параметрів МП на робочому місці зварників виконувалась у такій послідовності:

- визначення зони можливого знаходження працюючого біля електричного обладнання під час проходження зварювального струму;
- виділення в цій зоні точок максимально наближених до джерела МП;
- визначення частотних діапазонів випромінювань і вимірювання напруженості МП в цих точках і діапазонах;
- визначення часових характеристик МП.

Вимірювання напруженості МП при дугових методах зварювання повинні проводитися з урахуванням розміщення електричного кабелю.

Для вимірювання напруженості МП використовували виносний датчик (перетворювач магнітного поля), інтегруючий RC-ланцюг і реєструючий пристрій, в якості якого використовували цифровий запам'ятовуючий осцилограф з функ-

цією швидкого перетворювання Фур'є (ШПФ) з блоком розширення. Застосовували такі прилади:

- датчик магнітного поля ДМП-1 (Україна);
- вимірювач індукції магнітного поля ГФИ-1 (Україна);
- вимірювач індукції магнітного поля ТП2-2У-01 (Україна);
- осцилограф PCS-500 з ПК (Velleman, Бельгія);
- осцилограф цифровий запам'ятовуючий ТДС 1002 (Tektronix, США).

У процесі вимірювань напруженості МП датчик вносили в поле, що досліджувалось, і орієнтували в просторі по максимуму показів реєструючого приладу. Виконували три виміри у вигляді коротких імпульсів з великим періодом тривалості. При цьому датчик розташовували послідовно в трьох взаємноперпендикулярних площинах і реєстрували його показання в кожній площині. Амплітудне значення вектора напруженості МП визначали за формулою [8]:

$$H_m = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}, \quad (1)$$

де H_x, H_y, H_z – значення напруженості МП в кожній площині.

Сумарне значення магнітного поля H визначали за виразом [8]:

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}, \quad (2)$$

де H_n – напруженість магнітного поля окремої гармоніки.

Тривалість опромінення працюючих в період зміни визначали шляхом проведення хронометражних спостережень. Сума всього часу, затраченого на виконання зварювання, показує час опромінення протягом дня.

Досліди виконувались у зварювальних лабораторіях Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона на типових робочих місцях. Вимірювання напруженості МП проводилися при ручних, автоматичних і напівавтоматичних способах дугового зварювання при застосуванні постійного та змінного струму. На робочій поверхні металевого стола встановлювались деталі для зварювання. Розташування зварювального обладнання (джерела живлення, баластних реостатів, сталевих газових балонів тощо) було незалежно-оптимальним. У зв'язку з вільним розташуванням джерел живлення і баластних реостатів зварювальні кабелі також мали вільне положення в просторі і відносно зварника.

Основною задачею вимірювання напруженості МП є порівняння її з сучасними санітарними нормами [8]. При цьому розсіювання МП від джерел живлення, магнітні наводки від сусідніх постів і вплив феромагнітних мас, що мають великий вплив на вимірювання, на цьому етапі досліджень не мали принципового значення. Це обумовлено тим, що при ручному зварюванні рівень МП, що індукуються на

поверхні різних частин тіла зварника та в середині визначається переважно величиною зварювального струму. Крім того, на рівень МП суттєво впливає площа випромінюючого контуру, розташування зварників відносно основних джерел випромінювання і відстань від випромінювача до тіла зварника.

Схема розташування зон, в яких проводилися вимірювання при ручному і напівавтоматичному зварюванні, представлена на рис. 1.

Наведений опис умов проведення дослідів дозволяє коректно виміряти рівні МП у всіх чутливих точках організму людини, які можуть піддаватися небезпечній та шкідливій дії МП. До таких точок, переважно, належать точки, позначені на рис. 1: 1 – головний мозок; 2 – серце й легені (груди); 3 – сечостатеві органи (живіт); 4 – кисть руки. Оскільки електричний кабель може дотикатися до тіла зварника, на ньому також необхідно визначати напруженість МП.

Оцінка отриманих результатів вимірювань напруженості МП виконувалася шляхом їх порівняння з нормативними значеннями ГДР [8], для чого необхідно було знати час знаходження (експозиції) зварника в цих полях. Для цього проводили хронометраж конкретного технологічного процесу, який міг бути здійсненим в реальних умовах промислового виробництва. Проте раніше виконані дослідження зайнятості зварників показують, що дія МП на організм носить перервний характер. Так, персонал ручного дугового зварювання в цілому на протязі восьмигодинної робочої зміни

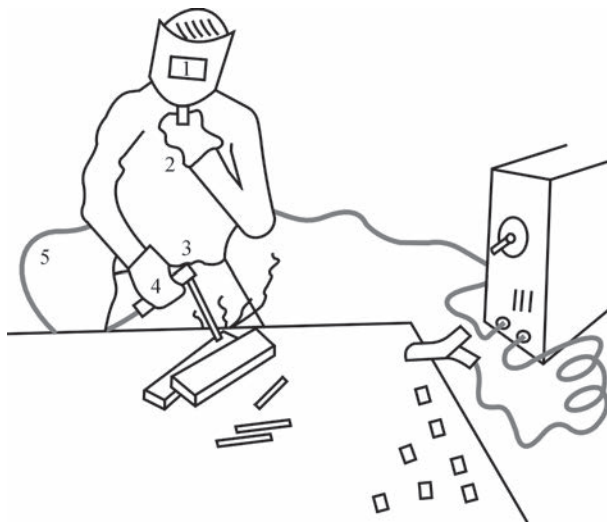


Рис. 1. Схема розташування зон вимірювання напруженості магнітного поля: 1 – голова (лоб); 2 – груди; 3 – живіт; 4 – кисть; 5 – кабель

Таблиця 1. Вимоги до рівнів магнітного поля згідно ДСН 3.3.6.096-2002 [8]

Параметри	Граничні амплітудні значення в спектральних діапазонах		
	0...5 Гц	5...50 Гц	0,05...1,0 кГц
$E H_{\text{ГД}}$, (А/м) ² · год	$1,4 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^7$	70000
$H_{\text{ГД}}$, (А/м) на 2 год	11832	2828	187

Примітка: $H_{\text{ГД}} = \sqrt{\frac{E H_{\text{ГД}}}{T}}$, де $E H_{\text{ГД}}$ – гранично допустиме значення енергетичного навантаження протягом робочого дня; T – час дії, год.

знаходиться в зоні несприятливої дії МП не більше двох годин, що обумовлено необхідністю виконання підготовчих робіт і коефіцієнтом тривалості увімкнення зварювального обладнання (ПВ, %). Зазвичай для обладнання ручного дугового і напівавтоматичного зварювання він складає 20...60 % від п'ятихвилинного циклу роботи.

Отже, якщо прийняти за чистий час зварювання 2 год за зміну, значення нормованих параметрів згідно санітарних норм будуть мати значення, наведені в табл. 1.

Такі умови виконання експериментальних замірів напруженості МП, тобто чистий час зварювання, що становить 2 год за зміну, дозволяє об'єктивно визначити реальні значення ГДР МП.

Результати експериментів та їх аналіз. Виконано дослідження напруженості МП при дуговому зварюванні різними способами (автоматичному зварюванні під флюсом, ручному покритими електродами, напівавтоматичному в захисних газах) електричним струмом промислової частоти (50 Гц) та постійним струмом. Умови проведення експериментів (способи зварювання, марка зварювальних матеріалів та обладнання, режими зварювання), а також результати визначення напруженості МП наведено в табл. 2–5.

Результати визначення напруженості МП при автоматичному зварюванні під флюсом з використанням тиристорного трансформатора з фазовим управлінням ТДФ-1002 виконувалися методом аналізу осцилограми та спектрограми, отриманих за допомогою зазначених приладів. Вимірювання проводилися на відстані 0,5 м від осі зварювального мундштука автомата ТС-17. Магнітне поле, індуковане зварювальним струмом, на екрані осцилографа візуально сприймається як синусоїдальне (рис. 2). Однак його дискретний спектр (рис. 3) характеризується як вираженою переважно правою гармонікою з частотою 50 Гц (H_{m50}), що досягає максимальної величини в ділянці живота зварника $H_{m50} = 360$ А/м, так і гармоніками $H_{m100} = 180$ і $H_{m150} = 150$ А/м. Отримані результати вимірювань (табл. 2) порівнювали з нормативними величинами МП.

Таким чином, результати визначення рівнів МП при автоматичному зварюванні на змінному струмі під флюсом на середньому за потужністю режимі показали задовільні в гігієнічному відношенні результати (табл. 2). Із результатів таблиці

видно, що перевищень ГДР МП в усіх досліджених діапазонах частот не виявлено.

При цьому було враховано, що оператор автоматичного зварювання не зобов'язаний постійно знаходитися в зоні впливу МП, тобто може захищатися відстанню від зварювального обладнання, мінімізуючи шкідливу дію МП на організм.

Діюче значення магнітного поля H , підраховане за виразом (2), становить 404 А/м, що значно нижче регламентованих (1400 А/м).

Подальша перевірка згідно ДСН 3.3.6.096-2002 складається з перевірки балансу енергетичного навантаження за діапазонами частот і перевищення норми в діапазоні 0...1000 Гц за виразом [8]:

$$\sum H_n^2 / \text{ГДР}^2 \leq 1, \quad (3)$$

де ГДР – гранично допустимі рівні МП відповідних діапазонів.

Так, для найбільших напруженостей МП, у даному випадку в ділянці живота зварника, при двогодинній експозиції величина співвідношення (3) більша одиниці. Отже, у цій зоні при автоматичному дуговому зварюванні під флюсом є перевищення допустимих значень напруженості МП, що вимагає застосовувати заходи захисту зварника (в даному випадку оператора автоматичного зварювання).

Перевищення допустимого рівня МП у розглянутому випадку обумовлене несинусоїдальною формою зварювального струму та наявністю у спектрі другої і третьої гармонік МП $H_{m100} = 180$ та $H_{m150} = 150$ А/м.

Зрозуміло, що в цьому випадку для оператора-зварника немає необхідності знаходитися в зазначеній зоні і можна застосувати так званий за-

хист відстанню. В інших випадках, наприклад, для ручного та напівавтоматичного зварювання, питання захисту зварника від МП буде складнішим.

Аналогічним чином було виконано аналіз осцилограм і спектрограм, характерних для інших способів дугового зварювання (табл. 3–5).

Результати досліджень рівнів МП (табл. 3) при ручному дуговому зварюванні покритими електродами марки АНО-21 на оптимальному режимі показали, що в частотному діапазоні 0...5 Гц перевищень нормованих рівнів МП немає. У частотному діапазоні 5...50 Гц перевищень також немає: усі значення напруженості МП нижчі ГДР двогодинної і навіть восьмигодинної експозиції. Але напруженість МП біля самого кабелю (струмоводу), який з'єднує випрямляч зварювального струму ВДУ-506 з електродотримачем, в частотному діапазоні 0...5 Гц по всій довжині кабелю становить 3977 А/м. Тобто напруженість у цій зоні майже досягає ГДР (4200 А/м). А у діапазоні частот 50...1000 Гц, для якого ГДР становить 94 А/м для восьмигодинної робочої зміни, виявлено окремі гармоніки $H_{300} = 896$ А/м та $H_{600} = 179$ А/м, які значно перевищують ГДР. Це свідчить про те, що якщо зварник знаходиться близько біля кабелю (обмотує його навколо свого тіла або намотує на руку, якою тримає електрод), це буде небезпечно для його здоров'я.

Дослідження напруженості МП (табл. 4) при напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі дротом Св-08Г2С показали, що в усіх досліджених зонах тіла зварника є перевищення ГДР МП в частотному діапазоні 50...1000 Гц.

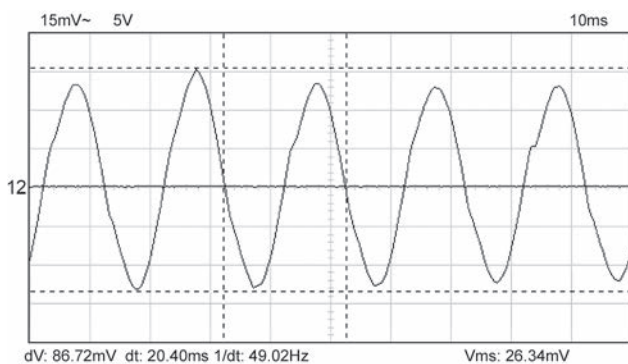


Рис. 2. Осцилограма магнітного поля автоматичного дугового зварювання під флюсом

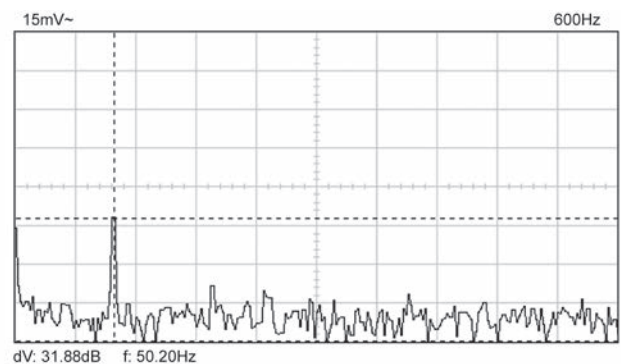


Рис. 3. Спектрограма магнітного поля автоматичного дугового зварювання під флюсом

Таблиця 2. Результати визначення напруженості магнітного поля при автоматичному дуговому зварюванні під флюсом АН-65 (діаметр дроту 4,0 мм, автомат ТС-17, джерело струму – трансформатор ТДФ-1002, струм – змінний 700 А, 36 В)

Спектральний склад магнітного поля і амплітуди гармонічних складових H_m в зонах вимірювання за діапазонами частот, А/м														
Зони вимірювань														
1 (лоб)			2 (груди)			3 (живіт)			4 (кисть)			5 (кабель)		
Діапазони частот, Гц														
0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0-5	5...50	50...1000	0-5	5...50	50-1000
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$H_5 = 83$	$H_{50} = 12$	$H_{100} = 62$	$H_5 = 130$	$H_{50} = 210$	$H_{100} = 98$ $H_{150} = 70$ $H_{200} = 48$	$H_5 = 230$	$H_{50} = 360$	$H_{100} = 180$ $H_{150} = 150$	*	*	*	*	*	*

Примітка: * – у даному діапазоні частот сигналу магнітного поля не виявлено.

Таблиця 3. Результати визначення напруженості магнітного поля при ручному дуговому зварюванні електродами АНО-21 (діаметр електродів 4,0 мм, джерело струму – випрямляч ВДУ-506, струм – постійний 200...220 А, 32...34 В)

Спектральний склад магнітного поля і амплітуди гармонічних складових H_{mn} в зонах вимірювання за діапазонами частот, А/м														
Зони вимірювань														
1 (лоб)			2 (груди)			3 (живіт)			4 (кисть)			5 (кабель)		
Діапазони частот, Гц														
0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$H_5 = 397$	$H_{50} = 28$	$H_{150} = 20$ $H_{300} = 32$ $H_{600} = 15$	$H_5 = 658$	$H_{50} = 40$	$H_{100} = 49$ $H_{150} = 64$ $H_{250} = 31$ $H_{300} = 82$ $H_{450} = 15$	$H_5 = 2386$	$H_{25} = 283$ $H_{50} = 159$	$H_{100} = 127$ $H_{300} = 710$ $H_{400} = 113$ $H_{500} = 113$	$H_5 = 1531$	$H_{50} = 113$	$H_{100} = 50$ $H_{300} = 357$ $H_{500} = 43$	$H_5 = 3977$	$H_{25} = 253$	$H_{100} = 90$ $H_{150} = 56$ $H_{200} = 63$ $H_{300} = 896$ $H_{350} = 23$ $H_{400} = 25$ $H_{425} = 15$ $H_{500} = 21$ $H_{600} = 179$

Наявність такої великої кількості гармонік у цьому частотному діапазоні можна пояснити впливом на форму сигналу МП характеристик самого способу зварювання. Зокрема, на форму сигналу МП впливають особливості горіння дуги, характер переносу електродного металу в дуговому проміжку і, звичайно ж, вихідні параметри джерела живлення зварювальної дуги. Процес зварювання може характеризуватися наявністю коротких замикань дугового проміжку, розміром крапель розплавленого металу та іншими факторами [10], які впливають на частоту створюваного МП.

Результати визначення напруженості МП, що створюється при ручному аргонодуговому зварюванні сталі неплавким електродом в аргоні з використанням випрямляча струму MAGIC WAVE-3000 (Австрія), наведено в табл. 5. Ці результати свідчать про повну відсутність перевищень рівня МП в усіх діапазонах частот і зонах тіла зварника. Це можна пояснити поліпшеними електричними характеристиками зазначеного сучасного випрямляча струму з модуляцією зварювального струму.

Разом з тим, наявність у зоні кисті руки, якою зварник тримає електрод (див. рис. 1), сигналу МП в частотному діапазоні 50...1000 Гц величи-

ною 160 А/м ($H_{320} = 160$) не означає, що є перевищення ГДР. Це пояснюється тим, що згідно санітарних норм у випадку локальної дії МП на кисті рук використовується підвищувальний коефіцієнт:

$$H_{\text{гд.лок}} = 5H_{\text{гд.заг}} \quad (4)$$

де $H_{\text{гд.лок}}$ – ГДР змінного магнітного поля з частотою 50 Гц при локальній дії (кисті рук); $H_{\text{гд.заг}}$ – ГДР змінного магнітного поля при загальній дії [8].

Тому перевищень ГДР у даному випадку немає: ця гармоніка знаходиться значно нижче допустимого рівня 470 А/м, що нижче ГДР. Отже, для ручного аргонодугового зварювання на постійному струмі перевищень нормованих значень МП немає навіть при восьмигодинній експозиції.

Низькі рівні МП у цьому випадку пояснюються використанням постійного струму невеликої сили та низької напруги дуги, а також особливостями випрямляча струму MAGIC WAVE-3000.

Разом з тим, у цих дослідях ручне зварювання неплавким електродом в аргоні виконувалося без присаджувального дроту. В інших же дослідях при подачі присадки в дуговий проміжок за рахунок хвильових процесів можлива додаткова модуляція сигналу МП і ускладнення (за кількістю гармонік) його спектра.

Таблиця 4. Результати визначення напруженості магнітного поля при напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі (дріт Св-08Г2С, діаметр – 1,2 мм, джерело струму – випрямляч ВДГ-3-3, струм – постійний 220 А, 20,,22 В)

Спектральний склад магнітного поля і амплітуди гармонічних складових H_{mn} в зонах вимірювання за діапазонами частот, А/м														
Зони вимірювань														
1 (лоб)			2 (груди)			3 (живіт)			4 (кисть)			5 (кабель)		
Діапазони частот, Гц														
0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$H_5 = 477$	*	$H_{75} = 318$ $H_{200} = 202$ $H_{300} = 126$ $H_{400} = 51$ $H_{480} = 63$ $H_{600} = 32$	$H_5 = 560$	$H_{46} = 356$	$H_{66} = 226$ $H_{80} = 253$ $H_{210} = 224$ $H_{232} = 126$ $H_{266} = 89$ $H_{276} = 63$ $H_{300} = 561$ $H_{350} = 80$	$H_5 = 1193$	$H_{46} = 450$	$H_{56} = 450$ $H_{114} = 316$ $H_{134} = 201$ $H_{158} = 201$ $H_{178} = 201$ $H_{184} = 201$ $H_{222} = 201$ $H_{300} = 201$	$H_5 = 768$	$H_{20} = 127$ $H_{40} = 318$	$H_{60} = 357$ $H_{120} = 253$ $H_{186} = 253$ $H_{216} = 143$ $H_{242} = 113$ $H_{276} = 113$ $H_{300} = 159$ $H_{350} = 127$ $H_{400} = 63$ $H_{462} = 71$ $H_{520} = 51$	*	*	*

Примітка: * – у даному діапазоні частот сигналу магнітного поля не виявлено.

Таблиця 5. Результати визначення напруженості магнітного поля при ручному дуговому зварюванні неплавким електродом в аргоні (діаметр електрода – 3,0 мм, джерело струму – випрямляч MAGIC WAVE-3000 (Австрія), струм – постійний 100 А, 10 В)

Спектральний склад магнітного поля і амплітуди гармонічних складових H_{mn} в зонах вимірювання за діапазонами частот, А/м														
Зони вимірювань														
1 (лоб)			2 (груди)			3 (живіт)			4 (кисть)			5 (кабель)		
Діапазони частот, Гц														
0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000	0...5	5...50	50...1000
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$H_5 = 416$	$H_{25} = 33$	$H_{85} = 45$ $H_{100} = 35$ $H_{115} = 45$ $H_{295} = 20$	$H_5 = 310$	*	*	$H_5 = 636$	$H_{40} = 21$	$H_{95} = 29$ $H_{160} = 29$ $H_{270} = 40$ $H_{320} = 80$	$H_5 = 1081$	$H_{40} = 39$	$H_{95} = 49$ $H_{160} = 51$ $H_{290} = 71$ $H_{320} = 160$ $H_{550} = 41$	*	*	*

Примітка: * – у даному діапазоні частот сигналу магнітного поля не виявлено.

Отримані результати свідчать про те, що при напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі металевим електродом на робочому місці зварника створюються МП, які перевищують ГДР в частотному діапазоні 50...1000 Гц. Це обумовлено, переважно, наявністю у складі індукованих МП досить інтенсивних високочастотних (у порівнянні з частотою 50 Гц) гармонічних сигналів, оскільки норма МП у цьому діапазоні частот згідно регламенту [8] різко зменшується (стає більш жорсткою) приблизно в 15 разів.

Для спектру всіх досліджених зварювальних процесів характерна наявність у сигналах МП складових з основними (першими) гармоніками 20, 50, 60, 300 Гц гармонік, кратних основним частотам і комбінаційним частотам. Походження цих гармонік при дуговому зварюванні можна пояснити наступними особливостями процесу зварювання:

20...25 Гц – це частота короткого замикання дугового проміжку, що виникає під час зварювання металевим електродом у вуглекислому газі;

50 Гц – частота напруги мережі, що живить зварювальний трансформатор, випрямляч, інвертор тощо;

60 Гц – частота напруги у вторинному контурі зарубіжних джерел живлення дуги (наприклад, MAGIC WEVE-2600);

300 Гц – частота першої гармоніки змінної складової випрямленої напруги при використанні шестифазної схеми випрямлення змінного струму.

Слід також врахувати вплив на форму МП наявності присаджувального дроту в усіх наших дослідках, окрім ручного зварювання неплавким електродом в аргоні, який сприяє додатковій модуляції сигналу МП і ускладнює його спектр.

Аналізуючи закономірності перебігу зварювальних процесів, стає зрозумілим, що спектральний склад сигналу МП, генерованих зварювальним обладнанням, переважно, визначається двома принципово нероздільними факторами:

– самим способом зварювання, особливостями горіння дуги і характером переносу електродного металу в дуговому проміжку;

– вихідними параметрами джерел живлення зварювальної дуги: трансформаторів, випрямля-

чів, а також додатковими електричними пристроями, що входять в зварювальний ланцюг (дросель, конденсатори, стабілізатори, осцилятори, «пристрої запалення дуги», баластні реостати тощо).

Природно, що для розробників електричного зварювального обладнання найбільший інтерес становить шлях зниження інтенсивності вищих гармонік за рахунок зменшення впливу другого фактору. Тому, з міркувань електромагнітної безпеки, розробникам такого обладнання слід зменшити крутизну фронту нарощування імпульсів струму і напруги джерел живлення зварювальної дуги, що працюють у ключових режимах. У процесі проектування джерел живлення необхідно знаходити компромісні рішення, вибираючи деякі оптимальні значення робочої частоти перетворювальних пристроїв і форму імпульсів зварювального струму. Що стосується впливу самих способів ручного та напівавтоматичного зварювання на частотний спектр і інтенсивність МП в робочій зоні, на нашу думку, потрібно:

– постійно обмежувати застосування процесів з короткими замиканнями дугового проміжку і ширше застосовувати зварювання в сумішах газів ($Ar + CO_2$, $Ar + O_2$, $Ar + O_2 + CO_2$) дротами малих діаметрів, що забезпечить відсутність цих замикань;

– розглянути (з гігієнічних позицій) можливість застосування способів зварювання і наплавлення з модуляцією режиму зварювання з метою отримання більш стабільного і передбачуваного процесу генерації МП;

– застосовувати автоматизацію та роботизацію зварювальних процесів.

Висновки

1. Визначено необхідні умови вимірювання рівнів МП, які створюються зварювальним обладнанням, для їх коректного гігієнічного оцінювання. Показано, що для об'єктивної оцінки рівнів магнітних полів чистий час зварювання має становити 2 год за зміну.

2. Результати гігієнічної оцінки магнітних полів у відповідності з новими нормативами полягають у наступному:

– напівавтоматичне зварювання металевим електродом у вуглекислому газі характеризується перевищенням гранично допустимого рівня магнітного поля в частотному діапазоні 50...1000 Гц;
 – при автоматичному дуговому зварюванні під флюсом перевищення гранично допустимих рівнів окремих гармонік магнітного поля відсутні, але є перевищення сумарного значення усіх гармонічних складових магнітного поля;
 – ручне дугове зварювання постійним струмом неплавким електродом в аргоні характеризується помірним рівнем магнітного поля на робочому місці;
 – під час ручного дугового зварювання покритими електродами перевищений рівень магнітного поля має місце лише на самому електродному кабелі.

Для мінімізації шкідливої дії магнітних полів на зварників необхідно керуватись наступними рекомендаціями (наскільки це можливо):

збільшити відстань тіла зварника від джерела електричної енергії і зварювального обладнання;

не давати можливості електродному чи зворотному кабелю обвиватися навколо тіла працюючого;

не давати можливості тілу зварника знаходитися між електродним кабелем і будь-яким іншим електричним кабелем; усі кабелі необхідно тримати разом з однієї чи другої сторони.

Список літератури/References

1. Pačaiová, H., Oravec, M., Šmelko, M. et al. (2018) Extra low frequency magnetic fields of welding machines and personal safety. *Journal of electrical engineering*, 69(6), 493–496. URL: <https://sciendo.com/pdf/10.2478/jee-2018-0084>
2. Michałowska, J., Przystupa, K., Krupski, P. (2020) Empirical assessment of the MAG welder's exposure to an electromagnetic field. *Przegląd Elektrotechniczny*, 96. <https://doi.org/10.15199/48.2020.12.48>
3. Modenese, A., Gobba, F. (2021) Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Health Surveillance according to the European Directive 2013/35/EU. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1730. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041730>
4. Stam, R. (2018) *Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields)*. Publication of the National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Netherlands. URL: <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/623629/2018998.pdf?sequence=1>
5. Fuentes, M. A., Trakic, A., Wilson, S. J., Crozier, S. (2008) Analysis and measurements of magnetic field exposures for healthcare workers in selected MR environments. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(4), 1355–1364. <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.913410>
6. Yamaguchi-Sekino, S., Ojima, J., Sekino, M. et al. (2011) Measuring exposed magnetic fields of welders in working time. *Industrial health*, 49(3), 274–279. <https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1269>
7. Levchenko, O., Polukarov, Y., Goncharova, O. et al. (2022) Determining patterns in the generation of magnetic fields when using different arc welding techniques. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 10 (116), 50–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254471>
8. *Напруженість електромагнітних полів промислової частоти*. (2002) ДСН 3.3.6.096-2002. Київ, МОЗ, 16. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>. (2002) ДСН 3.3.6.096-2002 *Intensity of electromagnetic fields of commercial frequency*. Київ, МОЗ, 16. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text> [in Ukrainian].
9. *Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц*. (1986) Москва: № 3206-85 от 17.01.85, 7. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031592>. (1986) *Maximum permissible level of magnetic fields of 50 Hz frequency*. Moscow, No. 3206-85, 17.01.85, 7. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031592>.
10. Потапьевский А.Г. (2007) *Сварка в защитных газах плавающим электродом. Часть 1. Сварка в активных газах*. Изд. 2-е, перераб. Киев, Экотехнология, 192. URL: <https://themechanic.ru/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=13675>. Potapievsky, A.G. (2007) *Consumable electrode shielded-gas welding. Pt 1: Welding in active gases*. 2nd Ed. Kyiv, Ekotekhnologiya. URL: <https://themechanic.ru/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=13675>.

HYGIENIC CHARACTERISTIC OF MAGNETIC FIELDS AT DIFFERENT ARC WELDING METHODS

O.G. Levchenko¹, Yu.O. Polukarov¹, O.M. Goncharova², O.M. Bezushko²

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua.

The levels and spectral composition of magnetic fields, generated by equipment for arc welding by different methods were determined, in order to assess their influence on the welder body. Published data on electromagnetic safety of electric arc welding were analyzed. A description of the proposed methodological approaches to determination of magnetic field levels, their measurement methods and methods of assessment of their influence on the welder body is given. Modern standards are characterized as to evaluation of the electromagnetic field impact on man, and their difference from the earlier applied standards. It is shown that new publications began to appear recently, which are devoted to the harmfulness of electromagnetic fields at application of electric production equipment. Hence the need to conduct new studies of electromagnetic fields, in particular their magnetic component (magnetic field intensity, A/m), when using welding equipment. This is required for hygienic assessment of the magnetic fields and development of the respective methods and means of welder protection. For this purpose, it will be necessary to choose new generation instruments for determination of the intensity of the magnetic fields. Proceeding from analysis of the obtained oscillograms and spectrograms of the magnetic fields, evaluation of their levels was performed at application of different arc welding methods. It is shown that the spectral composition of the magnetic field signal is determined, predominantly, by the welding process proper, features of arc burning and mode of electrode metal transfer in the arc gap, as well as output parameters of the welding arc power source. 10 Ref., 5 Tabl., 3 Fig.

Keywords: arc welding, electromagnetic field, field intensity, oscillograms, spectrograms, welder protection

Надійшла до редакції 25.02.2023