

# ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТАНДЕМНОГО ММА ЗВАРЮВАННЯ (НАПЛАВЛЕННЯ)

М.П. Драченко, О.Є. Коротинський

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua.

В роботі особливу увагу приділено застосуванню імпульсно-дугового тандемного зварювання покритими електродами. Розроблено та досліджено макети устаткування для тандемного зварювання та наплавлення. Запропоновано схему для тандемного дугового зварювання штучними покритими електродами з використанням у своєму складі ємнісних накопичувачів електроенергії, а також пристрою – приставки, що дозволяє використовувати будь-яке джерело зварювального струму для виконання такого виду зварювальних робіт. В основу роботи приставки покладено принцип управління швидкістю плавлення електродів, що забезпечує їх рівномірне взаємне вигорання. Також показані часові діаграми, що пояснюють принцип роботи пристрою, фотографії зразків наплавлення, осцилограми струмів, що підводяться до зварювальних електродів. Бібліогр. 7, рис. 8.

*Ключові слова:* тандемне дугове зварювання, ємнісні накопичувачі енергії, імпульсно-часове регулювання швидкості плавлення електродів

**Вступ.** Імпульсно-дугове зварювання займає в даний час одне з провідних місць в машинобудівному виробництві та інших галузях промисловості. У зв'язку з цим питання підвищення енергоефективності джерел живлення для реалізації різних технологічних процесів стають особливо актуальними. На сьогодні здебільше уваги приділяється питанням проектування обладнання для тандемного дугового зварювання (ТДЗ). Як показано в [1], основна перевага даного способу зварювання полягає у підвищенні продуктивності і якості зварних з'єднань. Особливу увагу при аналізі ТДЗ ряд авторів [2–4] приділяє питанню електромагнітної взаємодії полів електродів, що впливають на просторове становище зварювальних дуг. Саме їх нестабільність приводить до флуктуації енергетичних параметрів процесу і тим самим впливає на коливання режимів зварювання. Стосовно ручного дугового зварювання штучними електродами слід відзначити ще одну перевагу устаткування для тандемного способу, що полягає в суттєвому спрощенні апаратної реалізації обладнання, в якому застосовуються накопичувачі електроенергії на базі суперконденсаторів.

Метою даної роботи є створення та дослідження електричних та технологічних властивостей макету пристрою для ручного тандемного дугового зварювання (РТДЗ) штучними електродами.

Однією з перших робіт, пов'язаних зі створенням пристрою для РТДЗ, є патент [5]. Недоліки обладнання за цим патентом – це громіздкість, необхідність наявності двох окремих джерел живлення, а також незручність в експлуатації. У зв'язку з цим, нами запропоновано пристрій [6] та спеціального виду електродотримач, у яких усунуті зазначені недоліки.

Одним із варіантів застосування такої структури є апаратний комплекс джерела живлення (ДЖ) для тандемного – ММА зварювання подвійним електродом, а також його застосування для ефективного наплавлення. Особливістю такого ДЖ є можливість роздільного живлення струму кожного з електродів. Причому регулювання цього струму може бути незалежним або взаємно синхронізованим. Структурно-функціональна схема такого ДЖ показана на рис. 1.

**Опис структури створеного макета.** В складі макета ДЖ можна виділити блок зарядного пристрою (ЗП), що реалізує спільно функцію коректора коефіцієнта потужності (ККП). Його основне призначення є передача в контрольованому режимі енергетичного потоку на ємнісні накопичувачі енергії  $C_{H1}$ ,  $C_{H2}$ , які виконані на високоємнісних потужних конденсаторах, а також коригування форми струму. Вказані конденсатори є одночасно джерелом енергії для двох формувачів зварювального струму ФЗС1, ФЗС2, що власне і формують ці струми  $I_1$  і  $I_2$ . Алгоритм роботи пристрою задається блоком керування зварювальним комплексом (БКЗК). Вирівнювання струмів по кожному з електродів проводиться БКЗК по сигналах датчиків напруг  $V_{H1}$ ,  $V_{H2}$ , які знімають сигнали на виході комутуючих дроселів  $L_{1,1}$ ,  $L_{1,2}$ .

В описаній схемі на рис. 1 використовується ККП, який входить до складу модуля зарядного пристрою (ЗП). Цей модуль виконаний за класичною схемою підвищуючого конвертора напруги [7], навантаженням якого є накопичувальні конденсатори  $C_{H1}$ ,  $C_{H2}$ . З іншого боку, до цих конденсаторів підключені споживачі накопиченої електроенергії ФЗС1, ФЗС2, в якості яких використовуються інвертори напруги за схемою «ко-

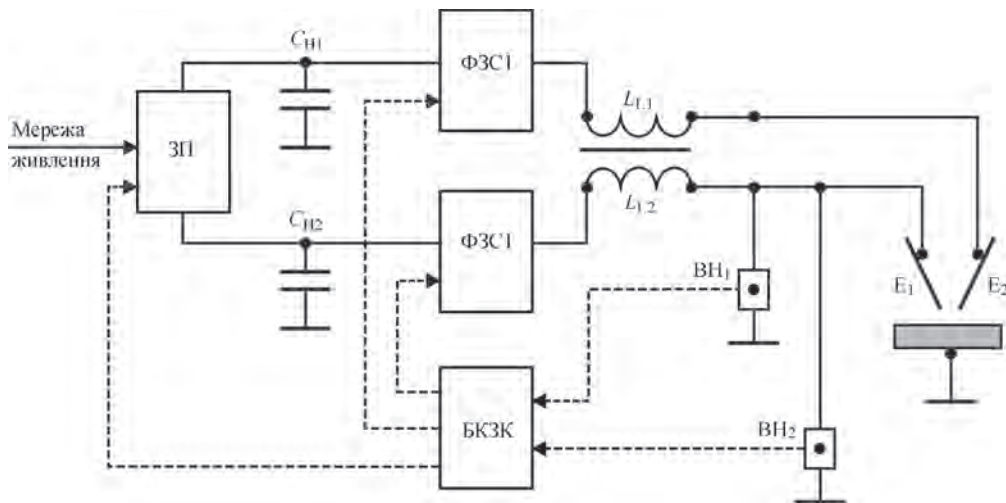


Рис. 1. Структурно-функціональна схема двохканального джерела для ТДЗ: ЗП – зарядний пристрій;  $C_{н1}$ ,  $C_{н2}$  – ємнісні накопичувачі електричної енергії; ФЗС1, ФЗС2 – формувачі зварювальних струмів; БКЗК – блок керування зварювальним комплексом;  $ВН_1$ ,  $ВН_2$  – вимірювачі напруги;  $L_{1,1}$ ,  $L_{1,2}$  – комутуючий дросель;  $E_1$ ,  $E_2$  – зварювальні ММА електроди

сий міст». Така топологія макету дозволяє мати гальванічну розв'язку вихідних ланцюгів формування взаємозалежних зварювальних струмів.

#### Керування швидкістю плавлення електродів.

При тандемному ММА зварюванні актуальним є питання взаємного вирівнювання швидкості плавлення зварювальних електродів. Зазвичай, в результаті впливу різних дестабілізуючих факторів, швидкість плавлення електродів може бути неоднаковою, що приводить до порушення технологічного процесу і погіршує якість зварного шва. Такі ефекти, як правило, мають місце при використанні локальних ДЖ для кожного електрода, особливо це помітно в разі, якщо ДЖ мають крутопадаючі ВАХ, або якщо використовуються неоднакові електроди з різними параметрами. Тому при створенні ДЖ для тандемного зварювання-наплавлення (ТЗН) актуальним є питання контролю і управління швидкістю плавлення електродів, яка залежить від величини електричної потужності, що підводиться до зварювальної дуги. Одним з методів регулювання швидкості плавлення електродів є імпульсна модуляція зварювального струму. Шляхом вибору амплітуди імпульсу, тривалості імпульсу і тривалості паузи здійснюється регулювання потужності, що підводиться до зварювальної дуги.

У разі живлення здвосних електродів (тандем-зварювання) від локально незалежних зварювальних ДЖ із змінною модуляцією імпульсів зварювального струму, регулювання швидкості плавлення електродів можна виконувати на підставі контролю різниці напруг на зварювальних електродах. Реалізація описаного алгоритму показана на схемі рис. 2.

Сигнали, діючі на електродах, подаються на диференціальний вимірювач напруги (ДВН), встановлений на вході пристрою. Цей сигнал пропорційний різниці напруг на зварювальних електродах  $U_{E1} - U_{E2} = \Delta U_E$  подається на вхід нормуючого

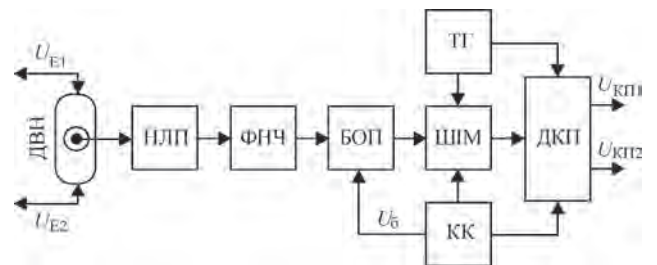


Рис. 2. Функціональна блок-схема контролера вирівнювача швидкості вигорання електродів при тандемному ММА зварюванні: ДВН – диференціальний вимірювач напруги; НЛП – нормуючий логарифмічний підсилювач; ФНЧ – фільтр нижніх частот; БОП – балансуєчий операційний підсилювач; ШІМ – широтно-імпульсний модулятор; ДКП – драйвер керування перемикачами; ТГ – тактовий генератор; КК – контролер керування;  $U_{E1}$ ,  $U_{E2}$  – напруги на зварювальних електродах;  $U_6$  – напруги балансування;  $U_{кп1}$ ,  $U_{кп2}$  – напруги керування перемикачами

логічного підсилювача (НЛП), що забезпечує формування необхідного різницевого сигналу, а далі подається на вхід балансуєчого операційного пристрою (БОП), з виходу якого на вхід широтно-імпульсного модулятора (ШІМ) надходить сигнал керування.

Балансування роботи ШІМ виконується напругою  $U_6$ , що подається на один із входів БОП. Тактовий генератор (ТГ) задає частоту роботи ШІМ і також управляє роботою драйверів керування перемикачами (ДКП) силових ключів. Останній на своїх виходах формує імпульси напруги управління силовими ключами. Діаграма роботи модуля ДЕП показана на рис. 3.

**Експериментальне випробування макета ДЖ.** Для досліджень розробленого пристрою (див. рис. 1) був виготовлений спеціальний тримач електродів (рис. 4.) з окремим підключенням кожного з електродів до різних джерел живлення.

Експериментальна перевірка роботи лабораторного макета ДЖ проводилася в наступних режимах.

1. Режим зварювання – тандемне пересування електродів (рис. 5, а).

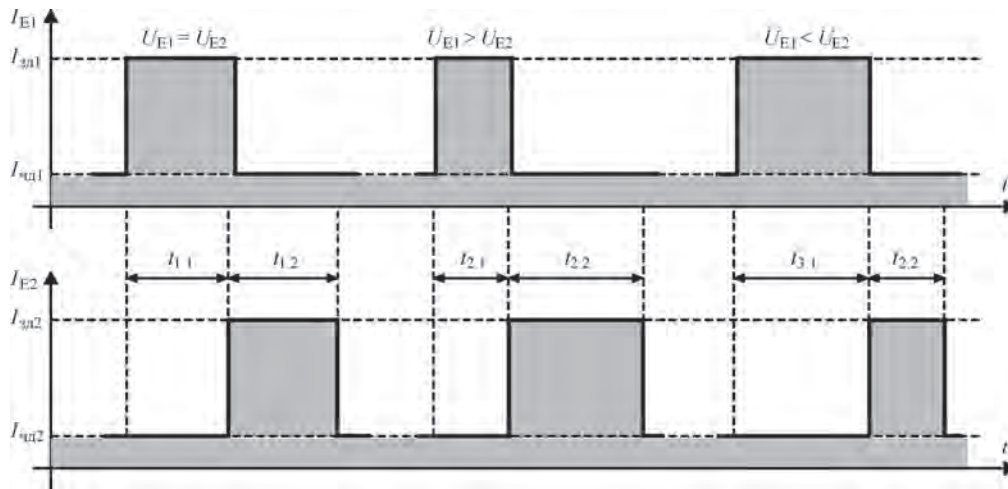


Рис. 3. Діаграма роботи пристрою-вирівнювача швидкості плавлення зварювальних електродів:  $t_{x1}$  – тривалість імпульсу зварювального струму першого електрода;  $t_{x2}$  – тривалість імпульсу зварювального струму другого електрода;  $I_{зд1}$ ,  $I_{зд2}$  – амплітудні значення імпульсів зварювального струму першого та другого електродів ( $I_{зд1} = I_{зд2}$ );  $I_{зд1}$ ,  $I_{зд2}$  – амплітудні значення імпульсів чергового струму першого та другого електродів ( $I_{зд1} = I_{зд2}$ )



Рис. 4. Фото тримача електродів з незалежним живленням кожного із них

2. Режим наплавлення – фронтальне пересування електродів (рис. 5, б).

Були досліджені режими тандемного зварювання з електродами однієї марки або різними. Осцилограми зварювальних струмів при використанні неоднакових електродів показано на рис. 6, б та з однаковими електродами – рис. 6, а.

На осцилограмі рис. 6, а представлений режим, коли струм першого і другого електродів однакові, а тому сумарний струм (верхня діаграма) є практично постійною величиною.

Друга осцилограма відповідає режиму різних струмів окремих електродів. У цьому випадку, як видно з рис. 6, б сумарний струм є пульсуючим з частотою 5 Гц. Причому цю частоту, як вже зазна-



Рис. 5. Зразки наплавлення, виконані подвійними електродами з незалежним живленням кожного з них (опис. а, б – див. у тексті)

чалося вище, легко можна міняти в режимі реального часу в широкому діапазоні частот.

Ці діаграми струмів наплавлення отримані з врахуванням стабілізації режимів при технологічних процедурах, що здійснювалось за допомогою накладання на дуги постійного чергового струму.

Технологію тандемного дугового зварювання (наплавлення) можна реалізувати практично за допомогою будь-якого стандартного зварювального апарату. При цьому необхідно створити додатковий пристрій, який формував би два зварювальні струми, що живлять відповідні штучні електроди.

За результатами технологічних випробувань розробленого макету (див. рис. 1) нами було запропоновано, виготовлено та випробувано спеціальний пристрій до інверторного джерела будь-якого типу, що дозволяє реалізацію режиму імпульсно-дозованого тандемного дугового зварювання або наплавлення покритими електродами. Його блок-схема показана на рис. 7, а зовнішній вигляд на рис. 8.



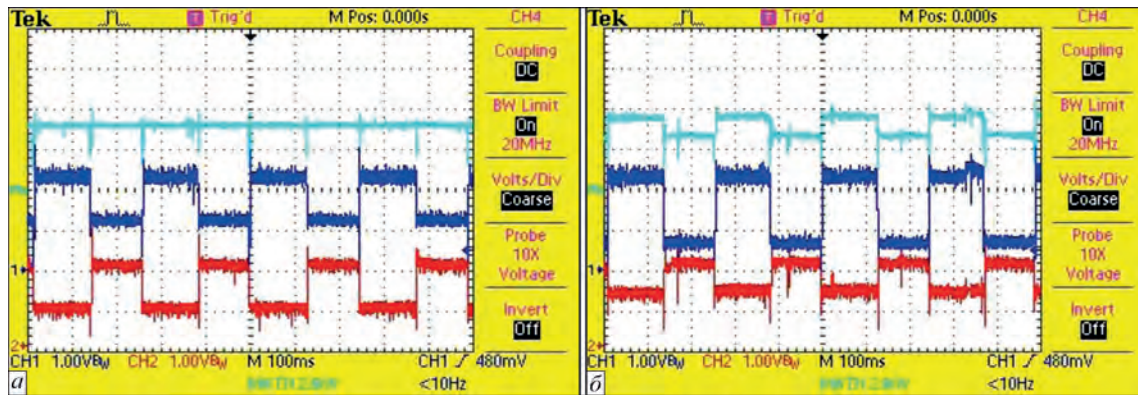


Рис. 6. Осцилограми, що ілюструють роботу ДЖ (опис. а, б – див. у тексті)

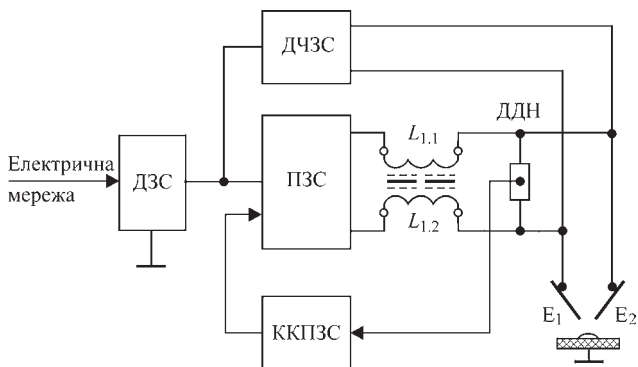


Рис. 7. Функціональна блок-схема пристрою-приставки для тандемного ММА зварювання: ДЗС – джерело зварювального струму; ДЧЗС – джерело чергових зварювальних струмів дуги; ПЗС – перемикач зварювальних струмів; ККПЗС – контролер керування перемикачем зварювальних струмів;  $L_{1,1}$ ,  $L_{1,2}$  – комутуючі індуктивності; ДДН – датчик диференційної напруги;  $E_1$ ,  $E_2$  – зварювальні ММА електроди

Тут стабілізація та керування енергетичними параметрами технологічного процесу виконується джерелом зварювального струму, в якості якого може бути використаний будь-який обраний користувачем серійний зварювальний пристрій. Це значно розширює можливості описаного способу тандемного дугового зварювання.

Основним модулем даного пристрою, що реалізує технологічний процес тандемного зварювання, є перемикач зварювальних струмів – ПЗС. Розподілення струмів по відповідним електродам виконується спеціалізованим контролером ККПЗС (контролер керування перемикачем зварювальних струмів), в складі якого працює пристрій (рис. 2).

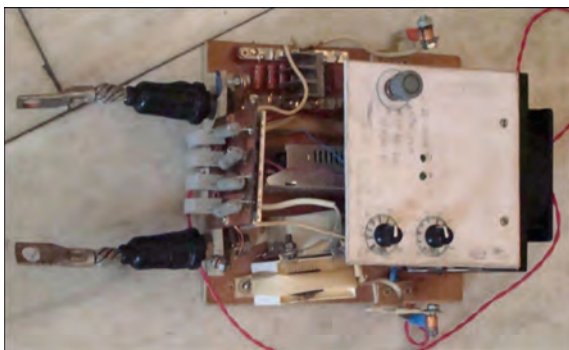


Рис. 8. Пристрій-приставка для тандемного ММА зварювання

Для забезпечення високої стабільності горіння зварювальної дуги в розробленому пристрої передбачений додатковий блок – джерело чергових зварювальних струмів дуги (ДЧЗС).

Випробування цього модулю було здійснено спільно з серійним джерелом, виконаним за схемою «косого» моста. За результатами проведених робіт слід відзначити, що режим імпульсно-дозованої передачі енергії в зварювальну дугу є досить перспективним для ремонтно-відновлювальних технологій.

## Висновки

1. У роботі запропоновано схему зварювального джерела живлення для ТДЗ штучними електродами, в якій використано досить простий алгоритм управління, побудований на принципі часо-імпульсного перетворення зварювального струму.

2. На основі проведених досліджень розроблено оригінальний пристрій керування швидкістю плавлення зварювальних електродів, на який отримано патент України.

3. Наведено експериментальні результати електричних та технологічних випробувань розробленого джерела живлення, що підтверджують його високі технічні характеристики.

4. Авторами запропоновано та досліджено спеціальний пристрій, що дозволяє виконувати тандемне зварювання від будь-якого серійного джерела постійного зварювального струму.

## Список літератур

1. Дилтай У., Штайн Л., Весте К., Райх Ф. (2003) Состояние и перспективы применения высокоэффективных сварочных технологий. *Автоматическая сварка*, **10-11**, 151–157.
2. Ueyama T., Ohnawa T., Yamazaki K. et al. (2005) High-Speed Welding of Steel Sheets by the Tandem Pulsed Gas Metal Arc Welding System. *Transactions of JWRI*, **34**, **1**, 11–18.
3. Цыбулькин Г.А. (2018) Влияние собственных магнитных полей на электрические дуги при тандемной дуговой сварке. *Автоматическая сварка*, **3**, 13–17.
4. (2021) *Сварка несколькими электродами*. Україна. <https://msd.com.ua/svarka/>
5. Князьков А.Ф., Сараев Ю.Н., Тимошенко А.К., Колесин С.А. (1983) *Способ двухэлектродной сварки с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления*. РФ патент № 998039.

6. Коротинський О.Є. Скопюк М.І. Драченко М.П. (2020) Джерело живлення для тандемного дугового ММА зварювання. Україна патент на корисну модель № 140340.
7. Коротинський А.Е. (2002) Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (обзор). *Автоматическая сварка*, 7, 50–63.
3. Tsybulkin, G.A. (2018) Effect of own magnetic fields on electric arcs in tandem-arc welding. *The Paton Welding J.*, 3, 12-15.
4. (2021) *Welding by several electrodes*. Ukraine. <https://msd.com.ua/svarka/>
5. Knyazkov, A.F., Saraev, Yu.N., Timoshenko, A.K., Kolesin, S.A. (1983) *Method of twin-electrode welding with short circuits of arc gap and device for its realization*. RF Patent 998039 [in Russian].

## References

1. Dilthey, U., Stein, L., Woeste, K., Reich, F. (2003) Latest development and trends in high-efficient welding technologies. *The Paton Welding J.*, 10-11, 146-152.
2. Ueyama, T., Ohnawa, T., Yamazaki, K. et al. (2005) High-speed welding of steel sheets by the tandem pulsed gas metal arc welding system. *Transact. of JWRI*, 34(1), 11–18.
6. Korotynskyi, O.E., Skopyuk, M.I., Drachenko, M.P. (2020) *Power source for tandem arc MMA welding*. Patent on utility model 140340, Ukraine [in Ukrainian].
7. Korotynskyi, A.E. (2002) State-of-the-art, tendencies and prospects of development of high-speed welding converters (Review). *The Paton Welding J.*, 7, 36-37.

## HIGH PERFORMANCE EQUIPMENT FOR TANDEM MMA WELDING (SURFACING)

M.P. Drachenko, O.E. Korotynskyi

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua).

In the paper special attention is given to application of pulsed-arc tandem welding by coated electrodes. Mock-ups of equipment for tandem welding and surfacing were developed and studied. A scheme was proposed for tandem arc welding by stick coated electrodes, fitted with capacitive energy storage devices, as well as a device-attachment that allows using any welding current source to perform this kind of welding operations. The attachment operation is based on the principle of controlling the electrode melting rate that ensures their uniform mutual burnout. Also shown are time diagrams, which clarify the principle of operation of the device, photos of surfaced samples, oscillograms of currents supplied to the welding electrodes. 7 Ref., 8 Fig.

*Keywords:* tandem arc welding, capacitive energy storage devices, pulse-time regulation of electrode melting rate

Надійшла до редакції 29.05.2022



## КОНФЕРЕНЦІЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ



м. Київ

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона  
17 листопада 2022 р.

### Тематика конференції

- Зварювання та споріднені технології з'єднання та обробки перспективних конструкційних і функціональних матеріалів, фізико-хімічні процеси при їх реалізації
- Фізична та конструкційна міцність матеріалів, зварних з'єднань і конструкцій, їх діагностика та подовження ресурсу експлуатації
- Автоматизація і роботизація технологій з'єднання та обробки матеріалів, математичне моделювання процесів та інформаційні технології
- Створення нових функціональних та конструкційних матеріалів і технологій їх отримання методами спеціальної електрометалургії
- Нові процеси і технології нанесення покриттів різного призначення та інженерія поверхні
- Матеріали, технології і виробниці медичного призначення
- Адитивні технології отримання виробів і елементів конструкцій на основі лазерних, електронно-променевих і дугових джерел енергії
- Технології ремонту та відновлення інфраструктурних і промислових об'єктів.

### Контрольні дати

Подання заявок для участі в конференції  
(доповідь наживо / on-line доповідь / стендова доповідь / без доповіді)

- |   |               |
|---|---------------|
| – тез доповідей                             | до 20.10.2022 |
| – без доповіді                              | до 10.11.2022 |
| Розсилка програми та збірки тез конференції | до 04.11.2022 |
| Оплата організаційного внеску               | до 16.11.2022 |

Організаційний комітет конференції  
тел./факс: (38044) 205-23-90  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua)  
[www.pwi-scientists.com/ukr/wtd2022](http://www.pwi-scientists.com/ukr/wtd2022)

