

## ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОРПУСІВ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бернацький А. В., Сіора О. В., Сіора І. В.

### ВСТУП

Фільтрувальні елементи широко використовуються у хімічній промисловості<sup>1</sup>. Вони призначені для фільтрації лаків, фарб, магнітних стрічок і плівок, мінеральних олій, стічних вод, розчинників, пально-мастильних матеріалів і інших нехарчових рідин<sup>2</sup>. Патронні фільтри призначені для фільтрації суспензій з невеликим вмістом твердої фази (до 5%) з метою очищення речовини<sup>3</sup>. Принцип роботи фільтра даного типу простий<sup>4</sup>. Суспензія подається під тиском в нижню частину корпусу. Рідка фаза проходить крізь фільтруючу перегородку і виходить через внутрішні порожнини патронів. Тверда фаза осідає на стінках патронів. Осад видаляється за допомогою гідравлічного удару, в результаті якого, осад потрапляє в заповнені рідиною корпус, після чого виводиться разом з рідиною<sup>5</sup>. Патронні фільтри можуть бути оснащені патронами різних типів: металевими патронами (перфоровані труби або пружинні каркаси); патронами з тканиною; металокерамічними патронами (порожнисті циліндри з пористим стінками)<sup>6</sup>.

Завдання виготовлення корпусів металевих патронів для фільтрів ускладнюється тим, що вони зроблені з перфорованого листового

---

<sup>1</sup> Защепкіна, Н. М., Дрегуляс, Е. П., Конахевич, Н. Р. Аналіз розвитку виробництва фільтрувальних матеріалів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 3. С. 87-89. URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2013\\_3/18zas.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2013_3/18zas.pdf)

<sup>2</sup> Луговський, О. Ф., Зілінський, А. І., Шульга, А. В., Гришко, І. А. (2020). Можливості регенерації фільтруючих перегородок. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. №2(89). С. 55-64. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211225>

<sup>3</sup> Зозуля, С. В. Механізми впровадження технології замкнутого циклу використання води в умовах експлуатації льодового катка. *Наукові нотатки*. 2022. №73. С. 47-53. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73.6>

<sup>4</sup> Varjoveanu, G., Teodosiu, C., Robu, V., Ene, S.-A. Sustainability in the water use cycle: challenges in the romanian context. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2012. Том 11. №11. С. 1987-2000. <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.248>

<sup>5</sup> Кичак, Р. В., Новодворський, В. В., Степанюк, А. Р. Обґрунтування способу очистки газового теплоносія при грануляції сушінням. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: *Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2019. №1. С. 25-31. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.171018>

<sup>6</sup> Хомічак, Л., Ткаченко, С., Шейко, Т., Кузнєцова, І., Джоган, О., Зайчук, Л. Практичний досвід та перспективи застосування аналізу розмірів частинок суспензій в технології цукробуякового виробництва. *Продовольчі ресурси*. 2020. Том 8. №14. С. 196-203. URL: <https://iprjournal.kyiv.ua/index.php/pr/article/view/58>

матеріалу. Тому при їх виготовленні постає проблема зварювання деталей малої товщини із нещільно прилягаючими крайками, яка потребує вирішення.

### **1. Розробка технологічного оснащення для лазерного зварювання стикових з'єднань із нержавіючих сталей малої товщини із нещільно прилягаючими крайками**

В якості модельного зразка виробу, нами був обраний конічний фільтруючий елемент, який використовується у хімічній промисловості у якості патрону фільтри. Даний фільтруючий елемент має форму усіченого конусу ( $\varnothing 27 \times \varnothing 25 \times 280$  мм), та виготовлений із нержавіючої сталі 08X18H10T з товщиною стінки ( $\delta = 0,5 \dots 0,6$  мм). Заготівлі для таких елементів зазвичай виготовляють з листових заготівель шляхом гильотинної вирубки з листів  $2000 \times 1000$  мм, у яких методом електроіскрової ерозії виконані отвори ( $\varnothing 0,5 \dots \varnothing 0,8$  мм) із кроком, близьким до їхнього діаметра (рис.1).



**Рис. 1. Заготівля фільтруючого елемента під зварювання із нержавіючої сталі 08X18H10T ( $\delta = 0,5 \dots 0,6$  мм) після вирубки та вальцювання**

Після гильотинної вирубки заготівлі проходять вальцювання на конічних вальцях. Але зважаючи на те, ще при вирубці повсякчас крайки заготівель приходяться на отвори, та при стиковці таких заготівель виникає проблема у їх стикуванні без зазору при зварюванні. Окрім того не допускається завищення або заниження шва більше ніж 10 %.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено та виготовлено технологічне оснащення показане на наступних рисунку 2, яке було використано при проведенні експериментів по лазерному зварюванню стикових з'єднань із нержавіючих сталей малої товщини, а саме:

струбцину для затискання зразків; підкладки для струбцини; дозатор для подачі присаджувального матеріалу у вигляді порошку фракцією «150 + 53» марки 16316 виробництва компанії «Castolin Eutectic».



**Рис. 2. Струбцина та підкладка для лазерного зварювання фільтрів крайками для хімічної промисловості з нещільно прилягаючими (в розібраному вигляді)**

У конструкції струбцини та підкладки для неї були запропоновані конструктивні рішення, завдяки яким, покращено процес зведення вальцьованих крайок. Окрім того, конструктив оснащення дозволяв проводити збір невикористаного порошку для його повторного використання. Все це дозволило підвищити продуктивність та уникнути браку.

Розроблена система подачі присаджувального матеріалу у вигляді порошку складається з дозатору (рис. 3), мідної трубки та кронштейна для кріплення дозатору.



**Рис. 3. Дозатор для подачі присаджувального матеріалу у вигляді порошку**

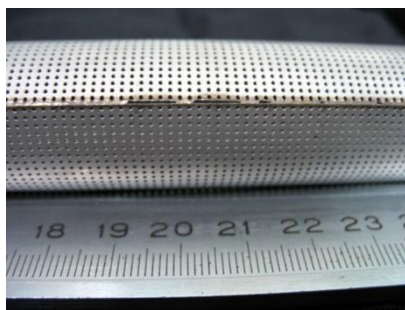
Розроблений дозатор, показаний на рис.4 має невеликі геометричні розміри та масу, що дозволяє розміщувати його безпосередньо на лазерній головці без значного утяжеління конструкції останньої. В корпус дозатору вмонтований електродвигун, на валу якого розміщено ексцентрик. Механічні коливання передаються на шток з отворами, через які проходить присаджувальний порошок, стимулюючи таким чином «стікання» порошку. Дозатор дозволяє використовувати порошки фракцією від 20 до 500 мкм з різних присаджувальних матеріалів, з витратами від 0,01 до 10 г/с. З метою стимулювання «стікання» порошку, додатково передбачено можливість коаксіальної подачі газу, який також можна використовувати з метою захисту ванни розплавленого металу від взаємодії з оточуючою атмосферою.

## **2. Розробка базових технологічних прийомів лазерного зварювання стикових з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками**

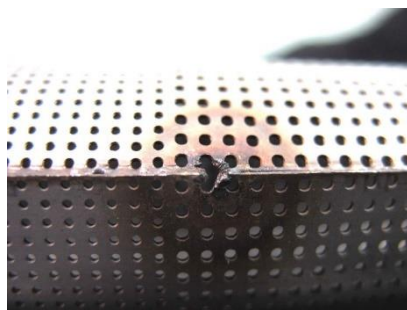
Лазерне зварювання стикових з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей зазвичай виконують сфокусованим променем, підбираючи оптимальне співвідношення швидкості зварювання та потужності лазерного випромінювання, для досягнення належної якості зварних швів та їх геометрії. Однак, при зварюванні таких деталей з нещільно прилягаючими крайками, мають місце дефекти (рис. 4, рис. 5), пов'язані з недостатньою кількістю матеріалу для формування належної геометрії зварного шва (прожоги, несплавлення, утоніння). Це потребує розробки та використання технологічних прийомів, які б дозволили уникнути наведених дефектів.

В якості можливих базових технологічних прийомів для удосконалення характеристик зварних з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками нами були розглянуті наступні:

- лазерне зварювання сфокусованим променем зі скануванням;
- лазерне зварювання розфокусованим променем;
- використання підкладки при зварюванні;
- використання присаджувальних матеріалів у вигляді дроту;
- використання присаджувальних матеріалів у вигляді порошків.



**Рис. 4.** Характерний дефект у вигляді не сплавлення крайок при лазерному зварюванні стикових з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками



**Рис. 5.** Характерний дефект у вигляді прожого крайок при лазерному зварюванні стикових з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками

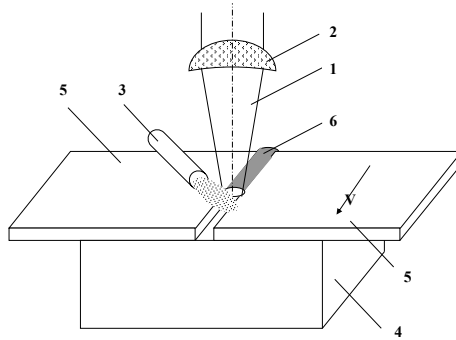
Проведені попередні експерименти дозволили встановити недоліки та переваги наведених технологічних прийомів. Так при лазерному зварюванні зі скануванням сфокусованим променем у зварних з'єднаннях були отримані дефекти у якості прожогів та утоніння

конструкції у місці шву. Проблему прожогів було усунуто шляхом використання в якості способу зварювання, – лазерного зварювання з розфокусованим променем. Однак проблема утоніння потребувала вирішення. Стала нагальна потреба у використанні присаджувального матеріалу. Вітчизняною промисловістю недостатньо освоєний випуск присаджувальних матеріалів у вигляді дроту малих діаметрів (0,2...0,5 мм) для такого класу матеріалів, як нержавіюча сталь. А також зважаючи на складність подавання дроту малого діаметру у ванну розплаву, було прийнято рішення про використання присаджувального матеріалу у вигляді порошку. Використання присаджувального матеріалу у вигляді дроту більшого діаметру ( $\varnothing 0,8...1,0$  мм), призводило до збільшення товщини зварного шва, відносно товщини заготівлі на 50 %, що було неприпустимо, та потребувало проведення додаткової операції з механічної обробки готового виробу, та в кінцевому разі значно здорожувало технологічний процес.

Для належного формування геометрії стикових з'єднань при використанні порошкового присаджувального матеріалу нами була використана мідна підкладка. В ході виконання експериментів її форма зазнала значних змін та була вдосконалена, а саме: зроблені лиски задля можливості кращого зведення крайок; зроблені спеціальні отвори під інструмент для полегшення вилучення готового зразка.

Для усунення необхідності в прецизійній підготовці крайок під лазерне зварювання нами був запропонований спосіб, в основу якого покладена лазерне порошкове наплавлення (див. рис. 6). Крайки, що зварюються, зводяться із зазором, що відповідає товщині крайок, що зварюються, або трохи перевищуючому її, та щільно притискаються до технологічної підкладки. У процесі зварювання зазор заповнюється присаджувальним порошковим матеріалом, що розплавляється розфокусованим лазерним випромінюванням. Технологічна підкладка може бути виготовлена як з міді, так й з інших матеріалів (наприклад, алюміній або графіт). Основною вимогою до вибору її матеріалу є відсутність можливості його сплавлення з основним і присаджувальним матеріалами.

В якості допоміжного встаткування був використаний живильник-дозатор для подачі присаджувального порошку. Присаджувальний порошок може являти собою той же матеріал, що й основний метал крайок, що зварюються. Можливе застосування присаджувальних порошкових матеріалів іншого хімічного складу. Основним критерієм тут є можливість одержання якісного сплавлення присаджувального матеріалу з основним.



**Рис. 6. Технологічна схема процесу лазерного зварювання крайок заготовель малої товщини з нещільно прилягаючими крайками:**  
**1 – лазерне випромінювання; 2 – фокусуюча лінза;**  
**3 – подача присаджувального порошку; 4 – підкладка;**  
**5 – заготовлі, що зварюються; 6 – зварне з’єднання;**  
**V – напрямок переміщення зварювальної головки**

Для проведення експериментів з лазерного зварювання стикових з’єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками була виконана розробка лабораторного стенду (рис. 7). Стенд був змонтований на базі трьохкоординатного маніпулятора (з ходами 3000×1800×100 мм) власного виробництва, та Nd:YAG-лазеру DY044 з потужністю випромінювання до 4,4 кВт та довжиною хвилі випромінювання  $\lambda=1,06$  мкм, виробництва фірми «Rofin-Sinar». Лабораторний стенд був експериментально випробуваний і дороблений з урахуванням технологічних і ергономічних вимог до його функціонування.



**Рис. 7. Процес лазерного зварювання стикових з’єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками на розробленому лабораторному стенді**

### 3. Встановлення впливу технологічних режимів на характеристики зварних з'єднань

В ході проведення досліджень, встановлений вплив технологічних режимів (густина потужності лазерного випромінювання  $W$ , швидкості обробки  $V$ , величини зазору  $B$ , положення плями лазерного випромінювання відносно крайок заготівель, що зварюються та інш.) на характеристики зварних з'єднань із нержавіючої сталі 08X18H10T малої товщини (0,5...0,6 мм) з нещільно прилягаючими крайками (величина зазору 0...1,0 мм), в залежності від геометрії, механічних характеристик структурного та фазового складу отриманих швів, витрат присаджувальних матеріалів, геометрії та матеріалу підкладки.

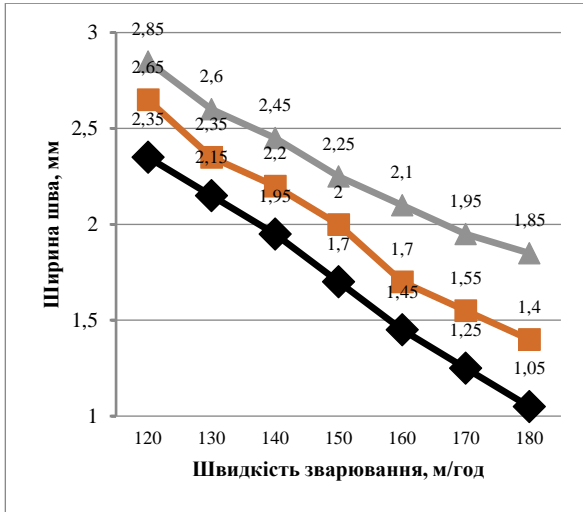
Експерименти, що були проведені на розробленому лабораторному стенді, дозволили визначити оптимальні, з позицій геометрії шву, технологічні режими процесу зварювання які повинні варіюватись у наступних межах: потужність випромінювання 0,5...0,6 кВт; швидкість зварювання 120...180 м/год; величина розфокусування  $\Delta F$  -10...-20 мм; витрати присаджувального порошку 0,2...0,3 г/с.

У експериментах використовувався лазер DY-044» фірми Рофін Сінар (виробництво Німеччини). Лазерне випромінювання фокусувалося таким чином, щоб периферійна частина лазерної плями оплавляла крайки заготівель. Положення плями відносно крайок заготівель, що зварюються варіювалось. Густина потужності лазерного випромінювання можливо змінювати варіюючи величиною таких параметрів, як потужність лазерного випромінювання та площа лазерного пучка на поверхні, що обробляється.

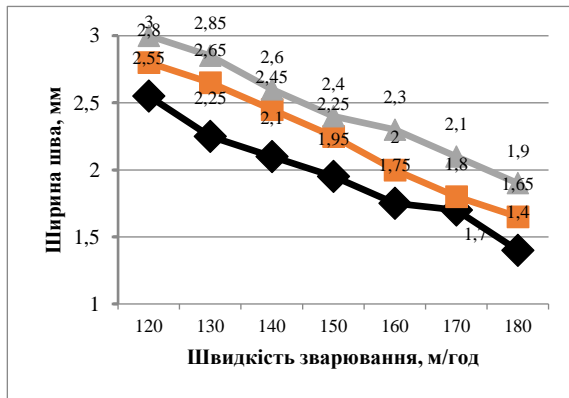
Експериментальним шляхом було встановлено, необхідним фактором для якісного ведення процесу, є таке положення плями фокусування лазерного випромінювання, коли периферійна частина лазерної плями оплавляє крайки заготівель. Тільки в цьому випадку можливо досягнення зварного з'єднання з необхідними механічними характеристиками та якісною геометрією.

На рис. 8-10 демонструється як змінюється ширина шва при зміні швидкості зварювання стикових з'єднань з нещільно прилягаючими крайками із нержавіючої сталі 08X18H10T при зміні величині розфокусування  $\Delta F$  у межах -10...-20 мм в залежності від зазору між крайками. Як видно, при зростанні швидкості зварювання ширина шва змінюється у межах лінійної залежності, що має спадаючий характер.



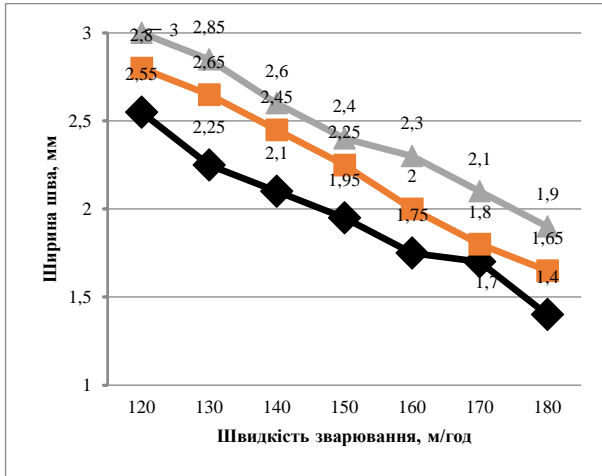


**Рис. 8.** Зміна ширини шва при зміні швидкості зварювання стикових з'єднань з нещільно прилягаючими крайками із нержавіючої сталі 08X18H10T (зазор 0,3 мм, потужність 500 Вт, витрати порошку 0,2 г/с) при величині розфокусування: ▲ – 20 мм; ■ – 15 мм; ◇ – 10 мм



**Рис. 9.** Зміна ширини шва при зміні швидкості зварювання стикових з'єднань з нещільно прилягаючими крайками із нержавіючої сталі 08X18H10T (зазор 0,5 мм, потужність 500 Вт, витрати порошку 0,2 г/с) при величині розфокусування: ▲ – 20 мм; ■ – 15 мм; ◇ – 10 мм

Подальше зростання швидкості зварювання до 200 м/год недоцільно, бо це призводить до дефектів у вигляді неповного проплаву. Зважаючи на те, що при запропонованому способі зварювання форма провару має не кинджальний вигляд, та розподіл тепла у зоні зварювання відбувається за рахунок теплопровідності, при такому режимі відбувається неповне переплавлення присаджувального матеріалу у вигляді порошку, що й призводить до виникнення дефектів.

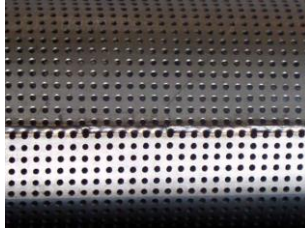


**Рис. 10.** Зміна ширини шва при зміні швидкості зварювання стикових з'єднань з нещільно прилягаючими крайками із нержавіючої сталі 08X18H10T (зазор 0,85 мм, потужність 500 Вт, витрати порошку 0,2 г/с) при величині розфокусування: ▲ – 20 мм; ■ – 15 мм; ◇ – 10 мм

Варто відзначити, що, як показали дослідження, при зміні зазору між крайками у межах 0...1,0 мм, ширина шва слабо залежить від зміни величини зазору та витрат присаджувального порошку.

Таким чином, можна зробити висновок, що головним чинником, що впливає на геометрію зварних з'єднань при запропонованому методі зварювання, є густина потужності лазерного випромінювання.

Після застосування запропонованих базових технологічних прийомів, вдалося одержати бездефектні зварні з'єднання (рис. 11).



**Рис. 11. Зварний шов зразку з нержавіючою сталі 08Х18Н10Т, зварений за допомогою розроблених базових технологічних прийомів**

При цьому були визначені оптимальні, з позицій геометрії шву, технологічні режими процесу зварювання які лежать у наступних межах: потужність випромінювання 0,5...0,6 кВт; швидкість зварювання 120...180 м/год; величина розфокусування  $\Delta F$ -15...-20 мм; витрати присаджувального порошку 0,2...0,3 г/с.

Дослідно-промислова партія корпусів фільтруючих елементів, виготовлених за такою технологією (рис.12), пройшла успішні промислові випробування на Чернівецькому хімічному заводі.



**Рис. 12. Фільтруючий елемент, зварений за розробленою технологією**

## **ВИСНОВКИ**

1. Виконана розробка базових технологічних прийомів лазерного зварювання стикових з'єднань малої товщини із нержавіючих сталей з нещільно прилягаючими крайками. Запропоновано для такого типу з'єднань проводити операцію зварювання розфокусованим променем, з примусовою подачею присаджувального матеріалу у вигляді порошку.

2. На розробленому лабораторному стенді проведені експерименти, в ході яких визначені оптимальні, з позицій геометрії шву, технологічні режими процесу зварювання які повинні варіюватись у наступних межах: потужність випромінювання 0,5...0,6 кВт; швидкість зварювання 120...180 м/год; величина розфокусування  $\Delta F$ -15...-20 мм; витрати присаджувального порошку 0,2...0,3 г/с.

3. Необхідним фактором для якісного ведення процесу, є таке положення плями фокусування лазерного випромінювання, коли периферійна частина лазерної плями оплавляє крайки заготівель. Тільки в цьому випадку можливо досягнення зварного з'єднання з необхідними механічними характеристиками та якісною геометрією.

4. При зміні зазору між крайками у межах 0...1,0 мм, ширина шва слабо залежить від зміни величини зазору та витрат присаджувального порошку.

5. Головним чинником, що впливає на геометрію зварних з'єднань при запропонованому методі зварювання, є густина потужності лазерного випромінювання.

6. Проведене лазерне зварювання дослідно-промислової партії зразків з використанням запропонованих базових технологічних прийомів.

## АНОТАЦІЯ

Об'єкт досліджень – технологічний процес лазерного зварювання стикових з'єднань із нержавіючих сталей малої товщини з нещільно прилягаючими крайками. Мета роботи – встановити технологічні особливості процесу лазерного зварювання стикових з'єднань із нержавіючих сталей малої товщини з нещільно прилягаючими крайками. Виконана розробка конструкторської документації та виготовлено технологічне оснащення для проведення досліджень по лазерному зварюванню стикових з'єднань із нержавіючих сталей товщиною до 1,5 мм. На виготовленому лабораторному стенді проведені експериментальні дослідження з розробки та відпрацювання базових технологічних прийомів з лазерного зварювання стикових з'єднань із нержавіючих сталей товщиною до 1,5 мм. Прогнозні припущення про розвиток об'єкту досліджень – використання одержаних результатів у різних галузях промисловості, для розробки принципово нових технологій з'єднання тонких деталей із великої номенклатури матеріалів за допомогою лазерного зварювання з подачею присаджувального матеріалу у вигляді порошку.

## Література

1. Защепкіна, Н. М., Дрегуляс, Е. П., Конахевич, Н. Р. Аналіз розвитку виробництва фільтрувальних матеріалів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 3. С. 87-89. URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2013\\_3/18zas.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2013_3/18zas.pdf)

2. Луговський, О. Ф., Зілінський, А. І., Шульга, А. В., Гришко, І. А. (2020). Можливості регенерації фільтруючих перегородок. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. №2(89). С. 55-64. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211225>

3. Зозуля, С. В. Механізми впровадження технології замкненого циклу використання води в умовах експлуатації льодового катка.

*Наукові нотатки*. 2022. №73. С. 47-53. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73.6>

4. Varjoveanu, G., Teodosiu, C., Robu, B., Ene, S.-A. Sustainability in the water use cycle: challenges in the romanian context. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2012. Том 11. №11. С. 1987–2000. <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.248>

5. Кичак, Р. В., Новодворський, В. В., Степанюк, А. Р. Обґрунтування способу очистки газового теплоносія при грануляції сушінням. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. №1. С. 25–31. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.171018>

6. Хомічак, Л., Ткаченко, С., Шейко, Т., Кузнецова, І., Джоган, О., Зайчук, Л. Практичний досвід та перспективи застосування аналізу розмірів частинок суспензій в технології цукробурякового виробництва. *Продовольчі ресурси*. 2020. Том 8. №14. С. 196-203. URL: <https://iprjournal.kyiv.ua/index.php/pr/article/view/58>

**Information about the authors:**  
**Bernatskyi Artemii Volodymyrovych,**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of the Department of Specialized  
High-Voltage Technique and Laser Welding  
E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
11, Kazymyra Malevycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine

**Siora Oleksandr Vasylovych,**

Researcher at the Department of Specialized  
High-Voltage Technique and Laser Welding  
E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
11, Kazymyra Malevycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine

**Siora Iryna Viktorivna,**

Candidate of Chemical Sciences,  
Researcher at the Department of Surface Biomedical Problems  
Chuiko Institute of Surface Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
17, Generala Naumova Str., Kyiv 03164, Ukraine