

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 5 (150), 2020

Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2020.5

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2020

Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

№5 (150), 2020

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України. Наказ МОН України від 18.12.2018 № 1412 (додаток 10, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук (категорія Б).

ISSN 1813-6796 print
ISSN 2617-9105 online

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИИЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

Відповідальний секретар:

Василенко В. М., к.т.н.

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Ресурсозбереження та енергоефективність. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-112

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 28.10.2020 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

BULLETIN

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

**Issue 5 (150), 2020 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2020.5

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2020

The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

№5 (150), 2020 The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК № 993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: № 1412, originating date 18.12.2018. Fields: Technical Science.

ISSN 1813-6796 print The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.
ISSN 2617-9105 online

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, ПИИЛ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Owner and Publisher: Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

Editor-in- Chief: **Igor V. Panasiuk** - Dr., professor

Deputy Editor: **Borys M. Zlotenko** - Dr., professor

Executive secretary: **Viktoria M. Vasylenko** - PhD

Scientific fields: Mechatronic systems. Energy Efficiency and Resource-saving Technologies. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-112

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 28.10.2020.

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

УДК 006.91.001:
628.2

ШТЕПА В.М.¹, ПЛАВАН В.П.², ЗАЄЦЬ Н.А.³, КОЛЯДА М.К.²,
КРИНИЦЬКА Н.²

¹ Поліський державний університет, м. Пінськ, Білорусь

² Київський національний університет технологій та дизайну

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України

КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ СТОКІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Обґрунтування та створення комбінованої технології очистки стічних вод шкіряних підприємств, які відрізняються багатокомпонентністю забруднювачів. Запровадження розробленої технології дозволить покращити екологічну безпеку таких промислових об'єктів за рахунок виконання вимог технічного регулювання до споруд для видалення забруднювачів.

Методика. Комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва передбачає поєднання фізико-хімічного та хімічного способів очистки, електротехнологій, електрохімічних та біохімічних процесів. Оптимізація параметрів розробленої технології здійснювалась із застосуванням градієнтних методів аналізу багатокомпонентних систем.

Результати. Розроблена комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва, яка включає дві технологічні стадії: електрохімічне окислення та коагуляцію і флокуляцію, інтенсифіковані електролізними процесами і кавітацією. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих технологічних рішень очищення стічних вод шкіряного виробництва. Досягнуто наступні зниження вмісту забруднювачів в стоках, %: сульфідів – 77,38, сірководень – 99,15, хром – 99,84, ХСК – 91,19, хлориди – 10,98, фосфати – 62,22.

Наукова новизна. Вперше шляхом фізичного моделювання комбінованого очищення стічних вод шкіряного підприємства на основі застосування як базисних електролізних процесів для деструкції органічних забруднювачів та безреагентної рН-корекції, створено підґрунтя для дослідження систем очищення промислових стоків, що дало можливість поєднати в одному технологічному рішенні різні способи видалення забруднювачів із стоків.

Практична значимість. Створені технологічні схеми та розроблені режими комбінованого очищення стічних вод шкіряного виробництва, запропоновано комбінований модуль водоочищення, розраховано його електроенерговитрати з можливістю масштабування згідно фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах.

Ключові слова: стічні води шкіряних підприємств, водоочищення, екологічна безпека, електротехнологія, електроліз, коагуляція, шкіряне виробництво.

Вступ. Стічні води шкіряних підприємств віднесені до висококонцентрованих, токсичних та агресивних [1-3]. Вони містять низку різних забруднень: залишки волосу, шматочки міздри, продукти розпаду білків, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), жирові речовини, барвники, мінеральні солі, рослинні і синтетичні дубителі. Серед мінеральних солей переважають сульфідів, хлоридів, солі хрому, алюмінію та інших металів. При цьому, через високий вміст органічних речовин, такі стічні води схильні до гниття, тому не виключається ризик повного руйнування екосистеми при попаданні таких стоків у водний об'єкт [4].

Найбільш забрудненими є стоки після підготовчих процесів, зокрема відмочування, зневолошування-зоління. Це пояснюється наявністю в робочих розчинах нерозчинних речовин органічного та неорганічного походження, хлоридів, сульфідів, поверхнево-активних речовин, водорозчинних протеїнів, деградованих залишків кератину [5]. Стічні води після хромового дублення токсичні через сполуки хрому III і високий вміст

нейтральних солей. Саме тому розроблення схем та режимів очищення таких стічних вод шкіряних підприємств є актуальною та важливою науково-практичною задачею.

На шкіряних підприємствах для нейтралізації і реагентного оброблення стоків застосовують фізико-хімічне очищення [6]. Перший спосіб застосовується на всіх виробництвах, що мають кислу ($\text{pH} < 6,5$) або лужну ($\text{pH} > 8,5$) реакцію. Реагентну обробку використовують для інтенсифікації процесів видалення зі стічних вод грубодисперсних, колоїдних і розчинених домішок, а також для знешкодження хрому.

Серед сучасних методів видалення сполук хрому, присутнього в стічних водах після процесу дублення, широко застосовується хімічне осадження та електрокоагуляція. Хімічне осадження забезпечує ефективність видалення 99,74%, а електрокоагуляція з алюмінієвими, мідними та залізними електродами забезпечує ефективність видалення 97,76, 69,91 і 90,27 %, відповідно [7]. Однією з альтернатив обробки є коагуляція/флокуляція з використанням вапна, сульфату алюмінію, хлориду заліза та сульфату заліза в якості коагулянтів [8]. Відомо використання катіонного поліакриламідів як флокулянта [9].

Іонний обмін, адсорбція і мембранна фільтрація найбільш часто використовуються для видалення важких металів із стічних вод. Відомо, як сорбенти використовуються природні матеріали на рослинній і мінеральній основі [10-13] та штучні синтетичні матеріали на основі синтетичних волокон, пінополіуретану [14-15] тощо. Останніми роками все більш широке застосування отримують волокнисті сорбційно-активні матеріали [16]. Від гранульованих сорбентів їх відрізняє вища хімічна і термічна стійкість, однорідність пористої структури і можливість її регулювання, значний об'єм мікропор і вищий коефіцієнт масопередачі. Подібні волокнисті абсорбенти можуть використовуватись для очищення стічних вод від нафтопродуктів, солей важких металів [17].

Інший сучасний підхід – використання кавітації. При такій обробці випадають в осад сполуки кальцію і деяка частина коагульованого білка. Окремо необхідно відмітити потенційну перспективність поєднання різних способів водоочищення на основі електролітичних процесів для деструкції органічних забруднювачів та безреагентної рН-корекції [18]. Отже, обґрунтування структурних та режимних параметрів комбінованого очищення стічних вод шкіряних підприємств дозволить покращити екологічну безпеку таких об'єктів природокористування.

Постановка завдання. Мета роботи – обґрунтування та створення комбінованої технології очистки стічних вод шкіряних підприємств, які відрізняються багатокомпонентністю забруднювачів. Запровадження розробленої технології дозволить покращити екологічну безпеку таких промислових об'єктів за рахунок виконання вимог технічного регулювання до споруд для видалення забруднювачів.

Методологія досліджень. У лабораторних дослідженнях видалення забруднювачів із стоків використовували скиди реального підприємства із вмістом забруднювачів, мг/л: сульфідів – 4,2, сірководню – 40, хрому – 147, хлоридів – 4500, фосфатів – 4,5; ХСК – 5300 мгО₂/л.

Обробка стічних вод включала дві технологічні стадії:

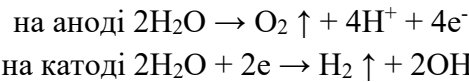
I. Електрохімічне окислення.

II. Коагуляція і флокуляція, для інтенсифікації яких використали електролітичні процеси

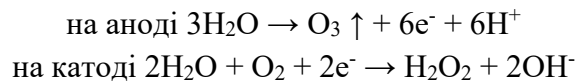
і кавітацію.

Як хімічний коагулянт використовували розчин хлориду заліза (III), концентрація 0,25 мл /дм³, як флокулянт – препарат на основі поліакриламиду (концентрація 1 мг/дм³).

Електроліз стічних вод супроводжувався серією паралельних електрохімічних реакцій, в результаті яких у воді відбувається синтез окислювачів. Основними реакціями електролізу води є утворення кисню O₂ і водню H₂, а також гідроксид іона OH⁻:



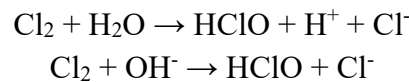
При електролізі води також утворюються озон O₃ і пероксид водню H₂O₂:



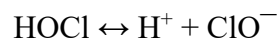
У присутності хлоридів (їх значна кількість у стоках шкіряних підприємств) при електролізі води утворюється розчинений хлор:



Розчинений хлор Cl₂, реагуючи з водою і гідроксид іоном, утворює гіпохлоритну кислоту HClO:

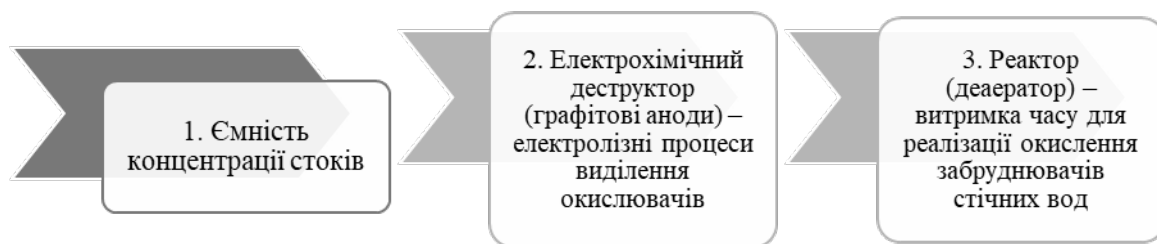


Розкладання гіпохлоритної кислоти HClO у воді призводить до утворення гіпохлорит іона:

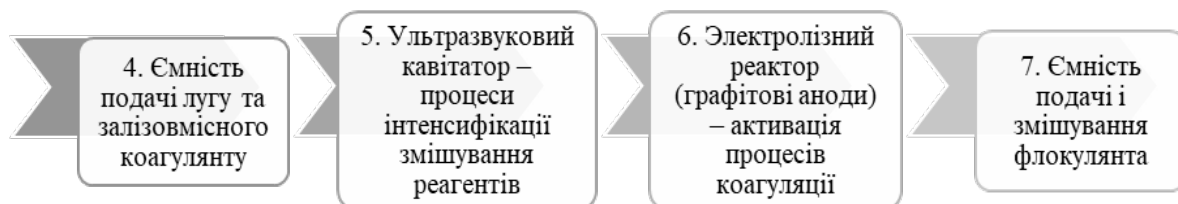


Тобто, при електролізі стічної води шкіряного підприємства утворюється ряд сильних окислювачів: кисень O₂, озон O₃, перекис водню H₂O₂, гіпохлорит іон OCl⁻. Поява при електролізі води OH-радикалів, H₂O₂ і O₃ призводить до утворення інших сильних окислювачів, таких як O₃⁻, O₂⁻, O⁻, HO₂, HO₃, HO₄.

Структурна схема стадії електрохімічного окислення (I стадія):



Структурна схема стадії інтенсифікації електролізними процесами і кавітацією коагуляції та флокуляції (II стадія):



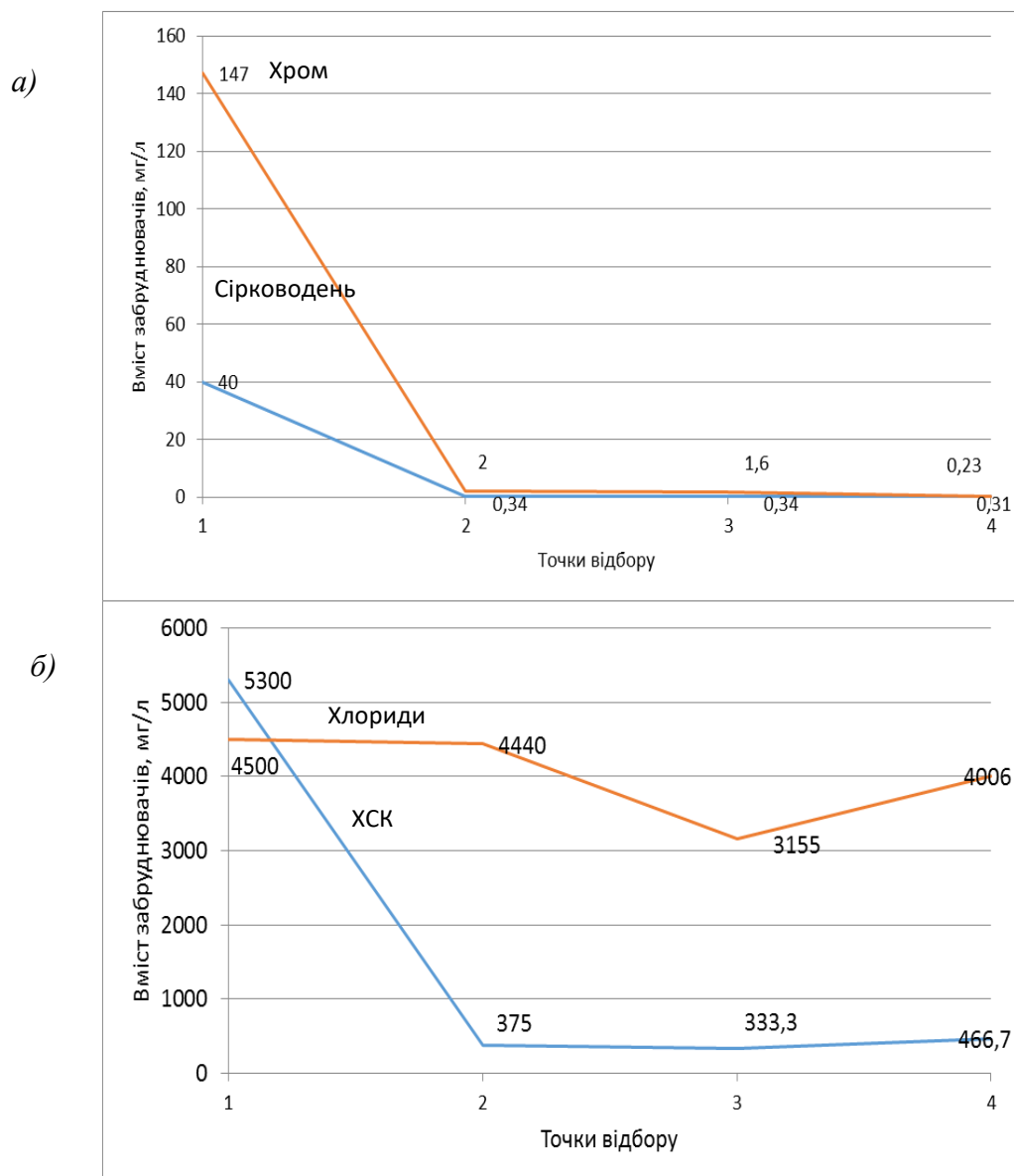
Пробовідбір виконувався в таких точках:

1. Вихідні концентрації забруднювачів.

2. Після «Електрохімічний деструктор» (позиція №2 схеми);
3. Після «Реактор (деаератор)» (позиція №3 схеми);
4. Після «Ємність подачі і змішування флокулянта» (позиція №7 схеми).

При такій компоновці устаткування акцент був зроблений на видалення специфічного запаху стічних вод шкіряного підприємства (головним чином через присутність сірководню) та зниженні вмісту сірководню, сульфідів, солей хрому, значення показника хімічного споживання кисню (ХСК).

Результати досліджень. Результати експериментальних досліджень щодо видалення забруднювачів із стоків шкіряного виробництва наведені на рис. 1.



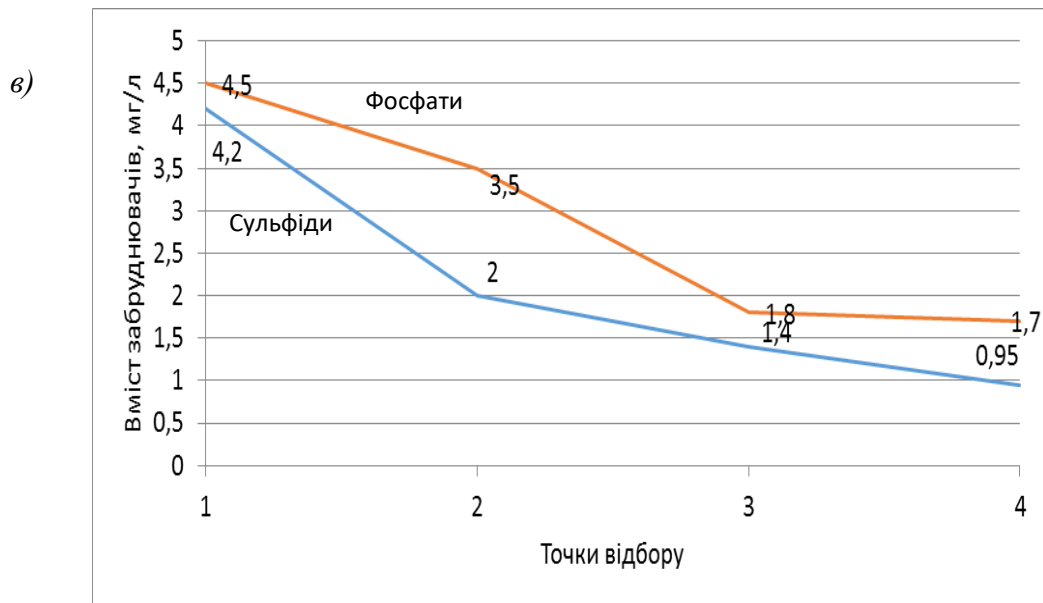


Рис. 1. Зміна концентрації забруднювачів по мірі очищення стічних вод шкіряного підприємства на різних етапах комбінованої технології:
 а) сірководню і хрому; б) хлоридів і значення ХСК; в) сульфідів і фосфатів

Як видно з наведених даних, спостерігається послідовне зниження вмісту сульфідів, фосфатів, хрому і сірководню в стоках, водночас вміст хлоридів і значення ХСК в четвертій точці пробовідбору після коагуляції і флокуляції підвищується. Це може бути пов'язане з тим, що як коагулянт використовується хлорид заліза (III), а як флокулянт – препарат на основі поліакриламідну, що викликає підвищення показника ХСК, який характеризує кількість кисню у мг/л, яка необхідна для повного окиснення органічних речовин, що містяться в пробі води.

Орієнтуючись на остаточний вихід очищених стоків (після позиції №7 – завершення коагуляції та флокуляції), можна констатувати перспективність застосованої комбінованої схеми очищення водних розчинів (рис. 2).

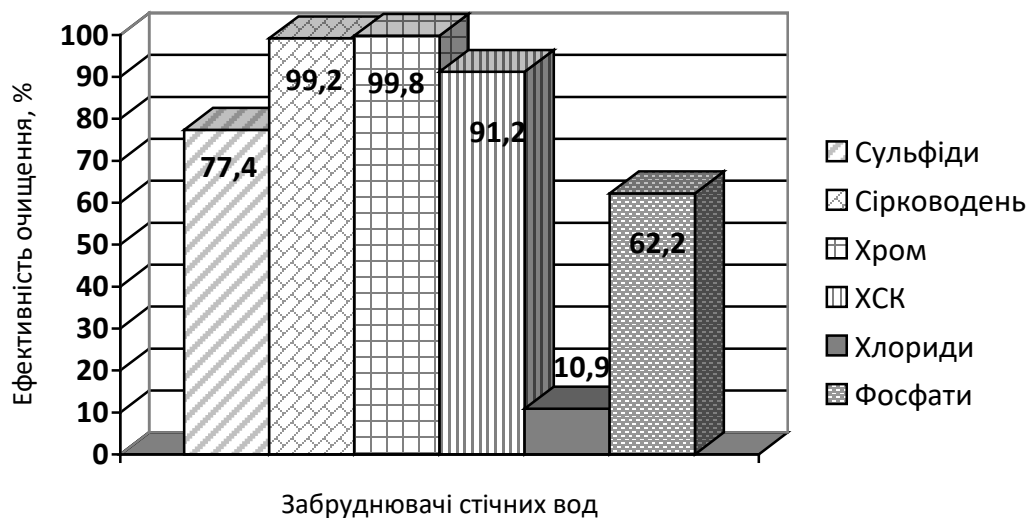


Рис. 2. Відносна ефективність комбінованого очищення стічних вод шкіряного виробництва на завершальному етапі очистки (після флокуляції)

Відштовхуючись від отриманих результатів (рис. 1 та 2) можна запропонувати електрохімічний модуль очищення стоків із інтеграцією у нього низки базових способів видалення забруднювачів (рис. 3).

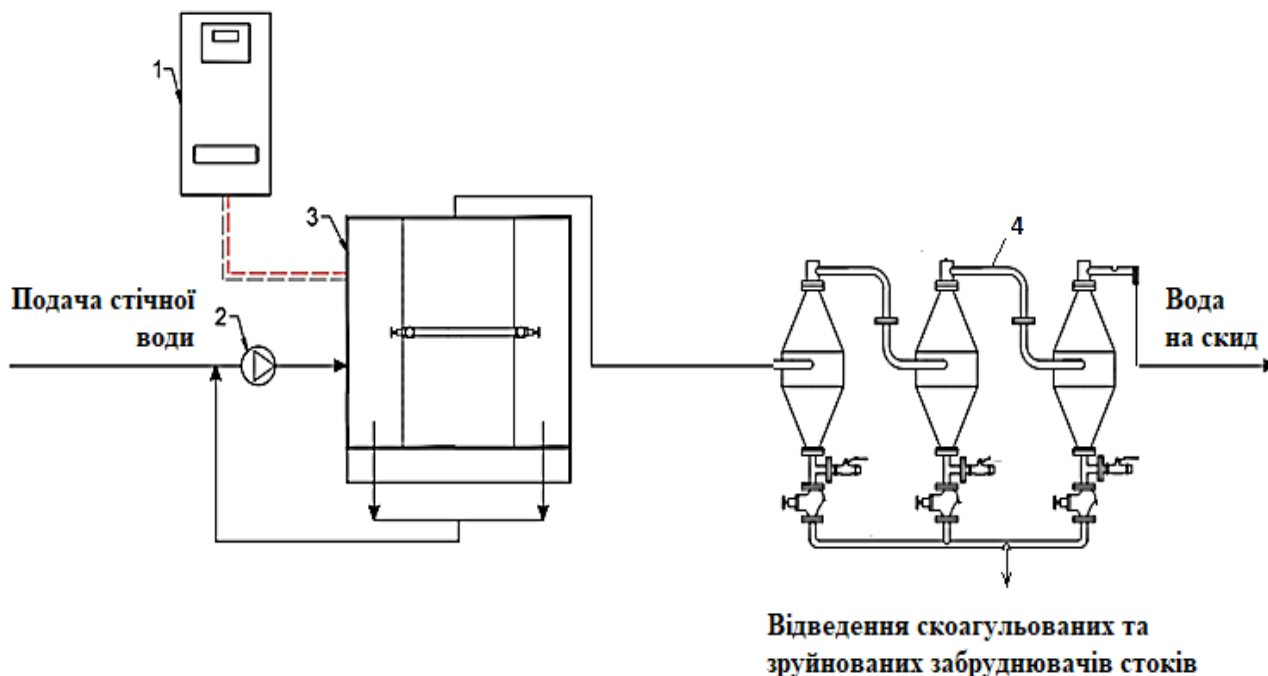


Рис. 3. Технологічна схема комбінованого модуля продуктивністю 100 м³/доба очищення стічних вод шкіряного підприємства: 1 – джерело постійного струму, 2 – електронасосний агрегат, 3 – електролізер-деаератор з деаератором та можливістю підключення дозаторів коагулянтів та флокулянтів; 4 – батарея гідроциклонів з УЗ-кавітатором

Розраховані електроенерговитрати на функціонування такого модуля наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Проектні електроенерговитрати комбінованого модуля очищення стічних вод шкіряного виробництва продуктивністю 100 м³/добу

Обладнання*	Споживна потужність	
	кВт/год	кВт/роб. зміна (24 г.)
Насосний агрегат 1	1,0	24,0
Насосний агрегат 2	1,5	36
Електролізер	4,0	96
Ультразвуковий кавітатор	1	24
Загалом	7,5	180,0

*Примітка. Залежить від показників якості стоків

Обґрунтована технологічна схема очищення стічних вод на основі комбінованого поєднання різних способів видалення забруднювачів із стоків шкіряного підприємства прийнятна для використання у виробничих умовах у якості модулів продуктивністю 100 м³/доба кожен з можливістю масштабування згідно фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах. У подальшому одержані результати у вигляді методичного та технологічного забезпечення систем очищення стічних вод шкіряних підприємств будуть

використанні як підґрунтя для створення нормативних документів щодо технічного регулювання екологічно безпечних систем водовідведення.

Висновки. Розроблена комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва, яка включає дві технологічні стадії: електрохімічне окислення та коагуляцію і флокуляцію, інтенсифіковані електролізними процесами і кавітацією. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих технологічних рішень очищення стічних вод шкіряного виробництва. Досягнуто наступні зниження вмісту забруднювачів в стоках, %: сульфіді – 77,38, сірководень – 99,15, хром – 99,84, ХСК – 91,19, хлориди – 10,98, фосфати – 62,22. Запропонована технологічна схема очищення стічних вод на основі комбінованого поєднання різних способів видалення забруднювачів може бути використана у виробничих умовах як окремий модуль продуктивністю 100 м³/доба, причому кількість таких модулів залежатиме від фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах.

Література

1. Александров В. И., Гембицкий П. А., Кручинина Н. Е. [и др.] Повышение эффективности очистки сточных вод кожевенного и мехового производства. *Экология и промышленность России*. 2002. № 10. С.36-37.
2. Артемов А. В. Производство изделий из кожи: проблемы экологии. *Экология и промышленность России*. 2004. № 2. С. 32-35.
3. Плаван В. П., Данилкович А. Г., Павлова М. С. Пути повышения экологичности процесса дубления кож. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2007. №3. С. 52-56.
4. Мазоренко Д. І., Цапко В. Г., Гончаров Ф. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. К.: Знання, 2006. 376 с.
5. Саблій Л. А., Бунчак О. М., Плаван В. П. Попереднє очищення стічних вод шкір заводів фізико-хімічними методами. *Вісник КНУТД*. 2013. №1 (69). С. 117-123
6. Штепа В. Н., Луцкая Н. Н., Заец Н. А. Управление теплотехническими режимами электротехнологической водоочистки. *Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого : научно-практический журнал*. 2019. № 3. С. 63-70
7. Mella, B., Glanert, A. C. C., & Gutterres, M. Removal of chromium from tanning wastewater by chemical precipitation and electrocoagulation. In *XXXII Congress of the IULTCS*, 29th-31th May 2013, Istanbul.
8. Ferreira, M. J., Almeida, M., Pinho, S. C., & Neves, A. Alternative treatments for footwear industry liquid effluents. Part 1: Classical approach. *Society of Leather Technologists and Chemists*, 2002. 86(3). P. 96-100.
9. Minghua, L., Hualong, Z., & Huaiyu, Z.

References

1. Aleksandrov V. I., Gembitskiy P. A., Kruchinina N. E. [et al.] Povyshenie effektivnosti oчитki stochnykh vod kozhevennogo i mekhovogo proizvodstva [Improving the efficiency of wastewater treatment in leather and fur production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2002. 10. P.36-37 [in Russian].
2. Artemov A.V. Proizvodstvo izdeliy iz kozhi: problemy ekologii [Production of leather goods: environmental problems]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2004. № 2. P. 32-35 [in Russian].
3. Plavan V. P., Danilkovich A. G., Pavlova M. S. Puti povysheniya ekologichnosti protsessa dubleniya kozh [Ways to improve the environmental friendliness of the leather tanning process]. *Ekotekhnologii i resursozberezhnie*. 2007. 3. P. 52-56 [in Russian].
4. Mazorenko D. I., Tsapko V. H., Honcharov F. I. Inzhenerna ekolohiia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Engineering ecology of agricultural production]. – К.: Znannia, 2006. 376 p. [in Ukrainian].
5. Sablii L. A., Bunchak O. M., Plavan V. P. Poperednie ochyshchennia stichnykh vod shkir zavodiv fizyko-khimichnymy metodamy [Preliminary treatment of wastewater from the tanneries by physical and chemical methods] *Visnyk KNUVD*. 2013. 1(69). P. 117-123 [in Ukrainian].
6. Shtepa V. N., Lutskaya N. N., Zaets N. A. Upravlenie teplotekhnicheskimi rezhimami eletrotekhnologicheskoy vodoочистki [Control of thermotechnical modes of electrotechnological water treatment] *Vestnik GGTU imeni P. O. Sukhogo : nauchno-prakticheskii zhurnal*. 2019. 3. P. 63-70 [in Russian].
7. Mella, B., Glanert, A. C. C., & Gutterres, M. Removal of chromium from tanning wastewater by chemical precipitation and electrocoagulation. In *XXXII Congress of the IULTCS*, 29th-31th May 2013, Istanbul
8. Ferreira, M. J., Almeida, M., Pinho, S.C., & Neves, A. Alternative treatments for footwear industry liquid

Recovery of chromium (III) from chrome tanning wastewater by precipitation and adsorption processes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2006. 90(5). P. 183-187.

10. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 2001. 84(1). P. 83-94.

11. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*. 2003. 37(20). P. 4974-4980.

12. Shaheen, S. M., Derbalah, A. S., & Moghanm, F. S. Removal of heavy metals from aqueous solution by zeolite in competitive sorption system. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2012. 3(4). P. 362-367.

13. Kołodziejka, D., Krukowska, J. A., & Thomas, P. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2017. 307. P. 353-363.

14. Lin, J., Shang, Y., Ding, B., Yang, J., Yu, J., & Al-Deyab, S. S. Nanoporous polystyrene fibers for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(2). P. 347-352.

15. Li, H., Liu, L., & Yang, F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(8). P. 1648-1653.

16. Матвеева О. Л., Демянко Д. О., Копиленко А. В., Шараєв К. О. Ефективність застосування сорбентів при очистці забруднених вод. *Харчова промисловість*. 2012. 12. С. 162-166.

17. Долина Л. Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. Дн-вск.: Континент, 2008. 254 с.

18. Штепа В. М. Віртуальна міра водоочищення та оцінка ризиків виникнення надзвичайних ситуацій / В. М. Штепа, В. В. Каплун // Вимірювальна техніка та метрологія : міжвідомчий науково-технічний збірник / Національний університет «Львівська політехніка». Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. Том 79, вип. 4. С. 5-11.

effluents. Part 1: Classical approach. *Society of Leather Technologists and Chemists*, 2002. 86(3). P. 96-100.

9. Minghua, L., Hualong, Z., & Huaiyu, Z. Recovery of chromium (III) from chrome tanning wastewater by precipitation and adsorption processes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2006. 90(5). P. 183-187.

10. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 2001. 84(1). P. 83-94.

11. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*. 2003. 37(20). P. 4974-4980.

12. Shaheen, S. M., Derbalah, A. S., & Moghanm, F. S. Removal of heavy metals from aqueous solution by zeolite in competitive sorption system. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2012. 3(4). P. 362-367.

13. Kołodziejka, D., Krukowska, J. A., & Thomas, P. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2017. 307. P. 353-363.

14. Lin, J., Shang, Y., Ding, B., Yang, J., Yu, J., & Al-Deyab, S. S. Nanoporous polystyrene fibers for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(2). P. 347-352.

15. Li, H., Liu, L., & Yang, F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(8). P. 1648-1653.

16. Matveeva O. L., Demianko D. O., Kopylenko A. B., Sharaiev K. O. Efektyvnist zastosuvannia sorbentiv pry ochysttsi zabrudnennykh vod [The effectiveness of sorbents in the treatment of contaminated water] *Kharchova promyslovist*. 2012. 4. P. 162-166. [in Ukrainian].

17. Dolina L. F. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii dlya ochistki stochnykh vod ot soley tyazhelykh metallov [Modern equipment and technologies for wastewater treatment from heavy metal salts]: Monografiya. Dn-vsk.: Kontinent, 2008. 254p. [in Russian]

18. Shtepa V. M., Kaplun V. V. Virtualna mira vodochyshchennia ta otsinka ryzykiv vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii. [Virtual measure of water purification and assessment of risks of emergencies]. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia : mizhvidomchyi naukovy-tekhnichnyi zbirnyk / Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika»*. 2018. 79(4). P. 5-11 [in Ukrainian].

VLADIMIR SHTEPA
shns1981@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2796-3144>
Polesky State University, Belarus

PLAVAN VIKTORIIA
plavan.vp@knutd.com.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>
ResearcherID: I-5852-2015
Kyiv National University of Technologies & Design

ZAIETS NATALIYA
z-n@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-2081>
National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine

MAKSYM KOLIADA
maksym.koliada@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4360-9556>
ResearcherID: C-1352-2016
Kyiv National University of Technologies & Design

NADIYA KRYNYTSKA
plaksik03041997@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7436-4347>
Kyiv National University of Technologies & Design

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СТОКОВ КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ШТЕПА В.Н.¹, ПЛАВАН В.П.², ЗАЕЦ Н.А.³, КОЛЯДА М.К.², КРИНИЦКАЯ Н.Н.²

¹ Полесский государственный университет, г. Пинск, Беларусь

² Киевский национальный университет технологий и дизайна

³ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Цель. Обоснование и создание комбинированной технологии очистки сточных вод кожевенных предприятий, которые отличаются многокомпонентностью загрязнителей. Внедрение разработанной технологии позволит улучшить экологическую безопасность таких промышленных объектов за счет выполнения требований технического регулирования к сооружениям для удаления загрязнителей.

Методика. Комбинированная технология обработки стоков кожевенного производства предусматривает сочетание физико-химического и химического способов очистки, электротехнологий, электрохимических и биохимических процессов. Оптимизация параметров разработанной технологии осуществлялась с применением градиентных методов анализа многокомпонентных систем.

Результаты. Разработана комбинированная технология обработки стоков кожевенного производства, которая включает две технологические стадии: электрохимическое окисление и коагуляцию/флокуляцию, интенсифицированные электролизными процессами и кавитацией. Проведенные исследования подтвердили эффективность предлагаемых технологических решений очистки сточных вод кожевенного производства. Получены следующие результаты снижения содержания загрязнителей в стоках, %: сульфиды - 77,38, сероводород - 99,15, хром - 99,84, ХПК - 91,19, хлориды - 10,98, фосфаты - 62,22.

Научная новизна. Впервые путем физического моделирования комбинированной очистки сточных вод кожевенного предприятия на основе применения электролизных процессов в качестве базисных для деструкции органических загрязнителей и безреагентной рН-коррекции, создана основа для исследования систем очистки промышленных стоков, что позволило совместить в одном технологическом решении разные способы удаления загрязнителей из стоков.

Практическая значимость. Созданные технологические схемы и разработаны режимы комбинированного очистки сточных вод кожевенного производства, предложен комбинированный модуль водоочистки, рассчитаны его энергозатраты с возможностью масштабирования в соответствии с фактическим объемом водоотведения на промышленных объектах.

Ключевые слова: сточные воды кожевенных предприятий, водоочистка, экологическая безопасность, электротехнология, электролиз, коагуляция, кожевенное производство.

COMBINED TECHNOLOGY FOR TANNERIES WASTEWATER PROCESSING
ШТЕРА В.М.¹, ПЛАВАН В.П.², ЗАПІЄТ С.А.³, КОЛІАДА М.К.², КРІНІЦЬКА Н.М.²

¹Polesky State University, Pinsk, Belarus

²Kyiv National University of Technologies and Design

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Purpose. Substantiation and creation of the combined technology of wastewater of tanneries, which differ in the multicomponent pollutants. The introduction of the developed technology will improve the environmental safety of such industrial facilities by complying with the requirements of technical regulation of facilities for the removal of contaminants.

Methodology. Combined tanneries wastewater treatment technology involves a combination of physico-chemical and chemical methods of treatment, electrical technology, electrochemical and biochemical processes. Optimization of the parameters of the developed technology was carried out with the use of gradient methods of analysis of multicomponent systems.

Results. Developed a combined tanneries wastewater treatment technology, which includes two technological stages: electrochemical oxidation and coagulation and flocculation, intensified by electrolysis processes and cavitation. The conducted study confirmed efficiency of the offered tanneries wastewater treatment technology. The following reductions in the content of pollutants in effluents were achieved, %: sulfides – 77,38, hydrogen sulfide – 99,15, chromium – 99,84, COD – 91,19, chlorides – 10,98, phosphates – 62,22.

Scientific novelty. For the first time by physical modeling of combined wastewater treatment from a leather plant based on the use as key electrolysis processes for the destruction of organic pollutants and reagent-free pH correction, a basis for the study of industrial wastewater treatment systems was created. This made it possible to combine in one technological solution different methods of removing pollutants from wastewater.

Practical significance. Created technological schemes and developed modes of combined tanneries wastewater treatment technology, a combined water treatment module has been proposed. Calculated electricity consumption with the possibility of scaling according to the actual volume of drainage at industrial facilities.

Key words: tanneries wastewater, water treatment, ecological safety, electrotechnology, electrolysis, coagulation, leather production.

№ 5 (150)

Опубліковано: протокол № 3 від 28.10.2020 р
DOI:10.30857/1813-6796.2020.5

ЗМІСТ 5 (150), 2020

Титул

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

1.	ВОЛЯНИК О. Ю. Дослідження взаємодії робочих органів барабана відцентрової машини з оброблюваним матеріалом 14-23 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.1
2.	ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В., МАЛИШЕВ В. В. Синтез та аналітичні дослідження геометричних параметрів статично визначеного просторового шарнірного механізму галтувальної машини 24-30 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.2

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

3.	ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є., МІКУЧІОНЕНЕ Д., МІЛАШУС Р., БЕЗСМЕРТНА В. І. Особливості 3D моделювання структури трикотажу у максимально розтягнутому стані 31-45 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.3
4.	БОРЩЕВСЬКА Н. М. Дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів 46-55 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.4
5.	ЛЕЩИШИН М. М. Дослідження та підвищення комфортності взуття за індивідуальним замовленням 56-66 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-

	6796.2020.5.5
6.	ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М., ШИПКО Д. О. Застосування ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси 67-73 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.6

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7.	БЕССАРАБОВ В. І., ПЛАВАН В. П., КУЗЬМІНА Г. І., ЛІСОВИЙ В. М., ВАХІТОВА Л. М. Використання полімерних композиційних матеріалів для підвищення біодоступності гесперидину 74-82 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.7
8.	ШТЕПА В. М., ПЛАВАН В. П., ЗАЄЦЬ Н. А., КОЛЯДА М. К., КРИНИЦЬКА Н. Комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва 83-92 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.8
9.	Сова Н. В., Слепцов О. О., Федорів Т. Р., Мартиненко А. О., Кудлай М. Р., Іскандаров Р. Ш. Вплив параметрів адитивного формування на електричні властивості графітонаповненого композиту на основі полілактиду 93-102 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.9
10.	НОВАК Д. С., БЕРЕЗНЕНКО Н. М., СЕРЕДЕНКО А. А., ПЩУЛІН О. Г. Дослідження впливу вмісту піску та модифікуючих добавок на властивості полімербетонних композицій 103-111 //https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.10