

Мирослава Коваль¹, Наталія Романенко²

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічних технологій та водоочищення
Черкаський державний технологічний університет (Черкаси, Україна)

E-mail: m.koval@chdту.edu.ua. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9680-8052>

²доктор технічних наук, професор, професор кафедри дизайну

Черкаський державний технологічний університет (Черкаси, Україна)

E-mail: romanenko_n_g@ukr.net. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2161-5736>

**ПРИНЦИП ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ СТИЧНИХ ВОД
У ПРОЦЕСАХ ФАРБУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Обґрунтовано принцип повторного використання стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва в процесах фарбування текстильних матеріалів. Наведені результати експериментальних досліджень, апробованих у реальних виробничих умовах фарбувально-опоряджувального виробництва, доводять достовірність висунутого принципу в межах критерію оптимізації забарвлення тканини (інтенсивності забарвлення в порівнянні з еталоном). Уперше наведені алгоритми можливого повторного використання стічної води (очищеної та концентрованої) у процесах фарбування текстильних матеріалів.

Ключові слова: фарбувально-опоряджувальне виробництво; стічна вода; фарбування; текстильні матеріали; барвник; цеоліт; адсорбція.

Табл.: 3. Рис.: 7. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Підприємства текстильної галузі легкої промисловості є самостійними структурними підрозділами із замкненим технологічним циклом переробки рослинної й тваринної сировини, хімічних і синтетичних волокон у тканину, надання їй відповідних споживацьких якостей та дизайну. Увесь комплекс опорядження і кінцевої обробки текстильної продукції здійснюється на фарбувально-опоряджувальних виробництвах текстильних підприємств.

Конкурентоспроможність текстильної продукції визначається її економічними та екологічними показниками. Текстильна продукція, яка нині випускається в Україні, характеризується високою собівартістю, значними витратами таких ресурсів, як вода, барвники, допоміжні речовини, теплова та електрична енергія. Це викликає необхідність у вирішенні науково-практичного завдання щодо створення нових ресурсозберігальних технологій фарбування текстильних матеріалів, які б забезпечували зниження собівартості текстильної продукції та зменшення екологічного впливу на водні ресурси країни.

Постановка проблеми. Відомо [1], що традиційні технології фарбування текстильних матеріалів пов'язані як зі споживанням матеріальних та енергетичних ресурсів, так і з утворенням відходів. У процесах опорядження тканин одним із основних матеріалів, що широко використовується, є вода. Близько 300 м³ води споживається на кожен тону текстильного матеріалу. Це споживання залежить від типу волокон, ткацької структури полотна, природи процесів опорядження та обладнання. Стоки фарбувально-опоряджувальних виробництв, де здійснюються процеси підготовки тканини до друку й фарбування (відварювання, біління тощо), власне процеси фарбування, кінцеве оздоблення містять суміш залишків синтетичних барвників та допоміжних речовин, усереднюють, направляючи до біологічного очищення [2]. Однак навіть після цього, маючи невелике біохімічне окислення, синтетичні барвники є серйозною небезпекою. Вони належать до отрут місцевої дії, яка має токсичний та гальмуючий вплив на організм [3]. Тож, актуальною є проблема очищення мультикомпонентної промислової стічної води до того ступеня очищення, щоб в подальшому використовувати її повторно як оборотну в процесі фарбування тканини.

Створюючи ризики для навколишнього водного середовища через його забруднення, концентрована стічна вода, утворена безпосередньо після процесу фарбування тканини з обладнання періодичної дії, що містить у середньому 25-40 % текстильних барвників – це якісна вторинна сировина, яка може бути повторно використана в технології фарбування текстильних матеріалів.

Треба зазначити, що однією з важливих стратегічних цілей розвитку Черкаської області на період 2021-2027 роки є «Висока якість життя: екологія, безпека, інфраструктура» [4, с. 62]. Нагальне питання цієї стратегії – створення технологій, які б забезпечували зниження собівартості продукції та зменшення екологічного навантаження під час її виготовлення та обробки. До розв'язання вищезазначеної проблематики доєдналися науковці Черкаського державного технологічного університету та фахівці ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» («ЧШК») (м. Черкаси, Україна).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують дослідження, які висвітлюють адсорбційне очищення стічної води, забрудненої барвниками, використовуючи, як адсорбент, активоване вугілля, бентонітову глину, цеоліти тощо. Так, активованим вугіллям доцільніше адсорбувати ті барвники, які мають невелику молекулярну масу і легше проникають в пори сорбенту [5]. Недоліком таких досліджень є використання дороговартісного сорбенту та використання для очищення лише модельних розчинів барвників, а не реальної стічної води виробництва.

Науковці Херсонського національного технічного університету [6], досліджуючи процеси очищення стічних вод після фарбування активними барвниками природним сорбентом А сорбційним, коагуляційним та хімічним способами, довели, що повторне використання очищених стічних вод можливе в процесі фарбування тканини активними барвниками, але при цьому суттєво знижується якість пофарбованих тканин.

Мамитова А.Д. (Південно-Казахський державний університет, Казахстан) досліджувала адсорбційні властивості активованої шкарлупи кісточок у процесі очищення стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва [7]. Визначено, що запропонований адсорбент гарно знижує кольоровість стічної води, але вода потребує доочищення, використання коагулянтів.

Професор М. С. Мальований із науковцями Львівської політехніки [8] проводили дослідження щодо використання природних сорбентів бентонітів та палигорскітів у процесі очищення модельних розчинів текстильного барвника аніонного червоного. Вибір для досліджень саме цих адсорбентів зумовлений їхньою невеликою вартістю в порівнянні з іншими, водночас адсорбційна ємність достатня для використання сорбентів в природоохоронних технологіях. Встановлено вигляд кінетичної кривої у випадку використання для цього процесу різних типів природних сорбентів.

Дослідження щодо вивчення адсорбційних властивостей природного цеоліту описано в наукових роботах [9; 10]. Відомо, що для покращення адсорбційної здатності цеоліту, його попередньо потрібно кислотно модифікувати. Так, Ю. І. Тарасевич [11, с. 69-70] рекомендує проводити хімічну модифікацію прожареного цеоліту 0,3 н розчином хлоридної кислоти.

Отже, саме адсорбційне очищення відносно недорогими природними матеріалами дозволяє очистити промислові стічні води з метою повернення їх у технологічний процес фарбування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз фахових видань за останні п'ять років та незначна кількість публікацій за темою показали, що проблема повторного використання стічної води у процесах фарбування текстильних матеріалів досліджувалася недостатньо, що обґрунтовує актуальність роботи, практичну перспективність і значущість отриманих експериментальних результатів.

Метою експериментальних досліджень є отримання емпіричних результатів, що доводять можливість повторного використання адсорбційно очищених та концентрованих стічних вод у технологіях фарбування текстильних матеріалів, створення нових алгоритмів процесу фарбування тканини, що прогнозовано призведе до ресурсозбереження та захисту довкілля.

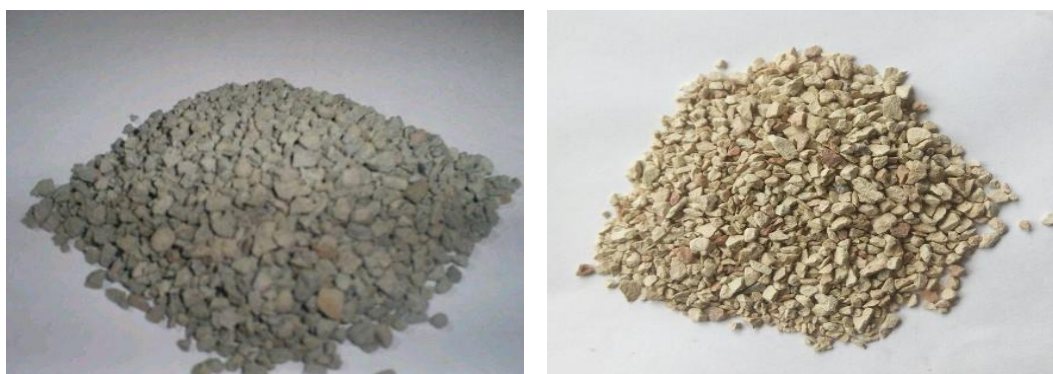
Виклад основного матеріалу. Досліджувалися два шляхи повторного використання стічної води в процесі фарбування тканин:

- використання усередненої стічної води фарбувально-опоряджувального виробництва, очищеної адсорбційним способом із використанням природних сорбентів;
- використання концентрованої стічної води, утвореної безпосередньо після процесу фарбування тканини з обладнання періодичної дії.

Експериментальні дослідження щодо адсорбційного очищення стічної води та підготовки її до фарбування включали два етапи:

- 1) фізико-хімічний аналіз стічних вод;
- 2) вибір сорбенту.

Для можливого очищення промислових стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва, досліджувалася адсорбційна дія двох природних сорбентів: бентонітової глини (с. Дашуківка Черкаської обл., Україна) та цеоліту (с. Сокирниця, Закарпатської обл., Україна). Фото сорбентів представлені на рис. 1.



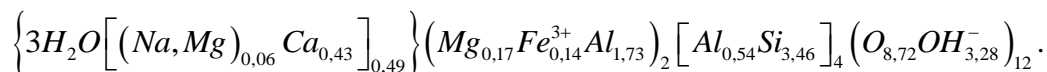
а

б

Рис. 1. Природні адсорбенти:

а – бентонітова глина фракцією 2–5 мм, б – цеоліт фракцією 2–5 мм

Бентонітові глини (бентоніти) — це тонкодисперсні високопластичні гірські породи смектитового складу (головним чином монтморилоніт та бейделіт), яким у різному ступені властиві зв'язуючі та сорбційні властивості. Фізико-хімічними дослідженнями встановлено, що глини Дашуківського родовища Черкаської області – світло коричневі, без запаху сірководню, мають вологість 57 %, напругу зсуву 821,59 Па. За хімічним складом водна витяжка бентонітів відноситься до сульфатно-гідрокарбонатного магнієво-кальцієвого-натрієвого типу або складного катіонного складу з мінералізацією 0,26 г/дм³. Зражки глини відзначаються високими значеннями питомої теплоємності (2,75 кДж/(кг·К)), об'ємної теплоємності (3,60 кДж/(кг·К)) та високою поглинальною здатністю, що і відображено високим значенням коефіцієнта адсорбції (0,98). Хімічна формула монтморилоніту бентонітової проби має вигляд [12]:



Цеоліти є природними водними алюмосилікатами, що містять оксиди лужних чи лужноземельних металів. Ці адсорбенти відрізняються регулярною структурою пор, розміри яких подібні з розмірами молекул, що поглинаються. Особливість цеолітів полягає в тому, що адсорбційні поверхні з'єднані між собою комірками певного діаметра, через які можуть проникати тільки молекули меншого розміру. Сорбент володіє підвищеною пористістю, що додає матеріалу високих гідродинамічних характеристик. Пориста структура цеоліту містить активні обмінні центри й зумовлює унікальні адсорбційні, катіонообмінні та каталітичні властивості. Природний цеоліт (сокирніт) Сокирницького родовища Закарпатської області (Україна) має мінеральний склад: клиноптилоліт (65-80 %),

монтморилоніт (2-4 %), кварц (до 10 %), плагіоклаз (5-10 %), карбонат (3%), гідрослюда (1-3%). Загальна молекулярна формула має вигляд [13]: $Mx/n[(Al_2O_3)_x(SiO_2)_y]WH_2O$.

Дослідженню підлягали нативні та термічно активовані сорбенти. Сорбцію усередненої стічної води здійснювали двома способами: з використанням лопатевої електричної мішалки та за допомогою колонки іонітового типу. Ступінь очищення стічної води визначали фотоколориметричним методом дослідження з подальшими математичними розрахунками відповідно до основного закону світлопоглинання Бугера-Ламберта-Бера. Одержані результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Ступінь очищення усередненої стічної води досліджуваними адсорбентами

Природний адсорбент	Ступінь очищення стічної води, %			
	нативний адсорбент		термічно активований адсорбент	
	Спосіб очищення за допомогою лопатевої мішалки	спосіб очищення за допомогою колонки іонітового типу	спосіб очищення за допомогою лопатевої мішалки	спосіб очищення за допомогою колонки іонітового типу
Бентонітова глина	22,7	18,3	38,9	21,1
Цеоліт	16,5	23,1	43	71,6

Графічні форми наведених даних з таблиці 1 представлені діаграмами на рисунках 2, 3.

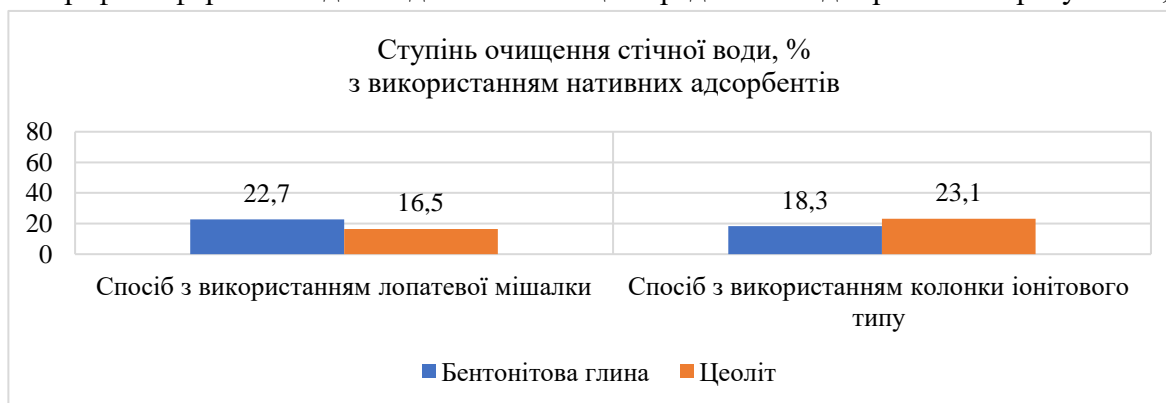


Рис. 2. Ступінь очищення стічної води з використанням нативних природних адсорбентів

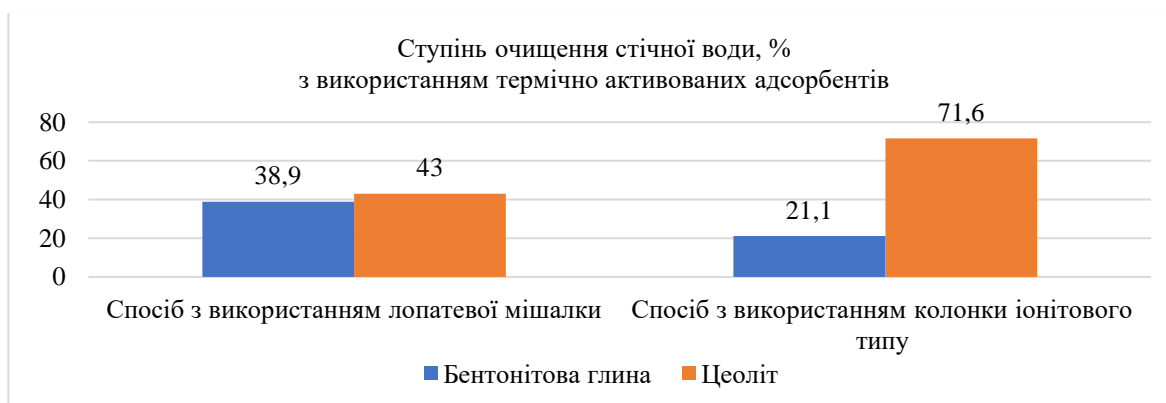


Рис. 3. Ступінь очищення стічної води з використанням термічно активованих природних адсорбентів

За результатами досліджень можна зробити висновок, що при застосуванні природних сорбентів для очищення промислових стічних вод, цеоліти мають кращу адсорбційну здатність, порівняно з бентонітовими глинами. Проте ефективність очищення на рівні

71,6 % досить низька для повторного використання очищених стічних вод як технологічних у процесі фарбування текстильних матеріалів. З метою більш глибокого та повного очищення, термічно активованій цеоліт піддавали кислотній модифікації, що призвело до ступеня очищення стічної води цеолітом 91 % [14]. Саме така очищена вода була використана повторно як оборотна в технології фарбування текстильних матеріалів.

Експериментальні дослідження щодо підготовки очищеної стічної води до фарбування включали такі етапи:

- 1) фізико-хімічний аналіз очищеної стічної води;
- 2) порівняльний аналіз показників очищеної та пом'якшеної технологічної води з подальшим визначенням інтенсивності забарвлення;
- 3) визначення відповідності пофарбованих зразків еталонним параметрам і показникам якості одержаних забарвлень.

Процес очищення стічної води здійснювали через шар нерухомого кислотно модифікованого сорбенту цеоліту з подальшою коагуляцією та флокуляцією до ступеня очищення, прийняттого до використання в технологіях фарбування тканини [14; 15]. Очищену стічну воду аналізували та порівнювали з технологічною пом'якшеною водою фарбувально-опоряджувального виробництва.

Повторне використання очищеної адсорбційним шляхом усередненої стічної води здійснювалося для фарбування поліефірної тканини дисперсними барвниками. Фарбування поліефірної тканини артикула 033 виробництва ПрАТ «ЧШК» здійснювали періодичним способом на лабораторній фарбувальній машині «Ahiba nuance top speed» (США) барвником дисперсним темно-синім 3 відповідно до технологічного циклу. Колірні характеристики одержаних забарвлень наведені в таблиці 2. На рисунку 4 зображені фото одержаних пофарбованих зразків тканини.

Таблиця 2

Колірні характеристики пофарбованої тканини «Поліефір» (арт. 033) барвником дисперсним темно-синім 3 порівняно з існуючою технологією ПрАТ «ЧШК»

Водні умови фарбування	Світлість dL	Відтінок (червоно-зелений) dA	Відтінок (жовто-синій) dB	Кольорова відмінність dE*	Інтенсивність забарвлення, % відповідно до еталона (100%)
Технологія з повторним використанням стічної води	-0,01	+0,05 червоніший	-0,19 більш насичений синій	0,2	99,9

Примітка. Кольорова відмінність – математичне уявлення, що дає змогу чисельно виразити відмінність між двома кольорами в колориметрії. dE не має перевищувати 2, що приблизно відповідає мінімально помітній для людського ока відмінності між кольорами.

Якість та стійкість одержаних забарвлень визначалися шляхом їх порівняння з еталоном (зразки ПрАТ «ЧШК») та визначенням стійкості фарбування згідно з чинними державними стандартами України (ГОСТ 9733.0-83, ГОСТ 9733.27-83, ГОСТ 9733.4-83 «Шкала сірих еталонів»). Стійкість забарвлення вимірювали на приладі «Stainingtester» (Угорщина). Стійкість забарвлення отриманих зразків у порівнянні з еталоном, бали: сухе тертя – 2/2; мокре тертя – 2/2; дія мила – 4/4.

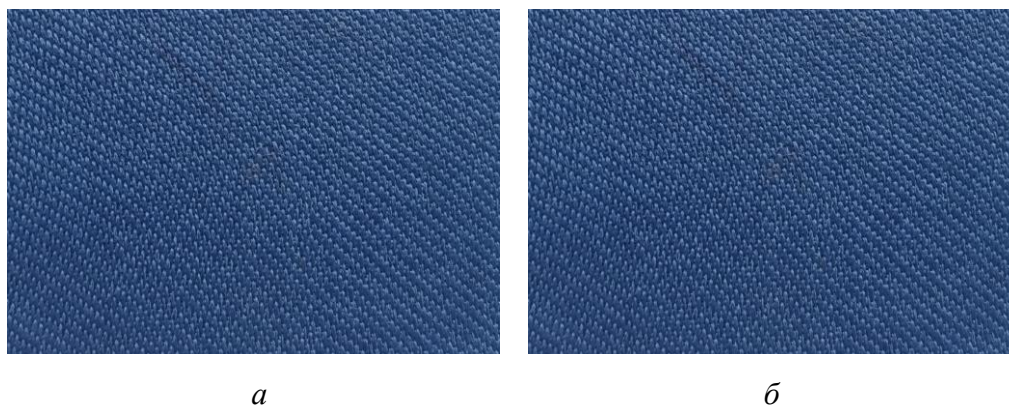


Рис. 4. Зразки пофарбованої тканини «Поліефір» (арт. 033) барвником дисперсним темно-синім 3: а – за існуючою технологією; б – з використанням адсорбційно очищеної стічної води

Алгоритм технологічних дій, за якими пропонується здійснювати процес фарбування текстильних матеріалів із повторним використанням стічних вод адсорбційно очищених промислових стоків, наведений на рисунку 5.

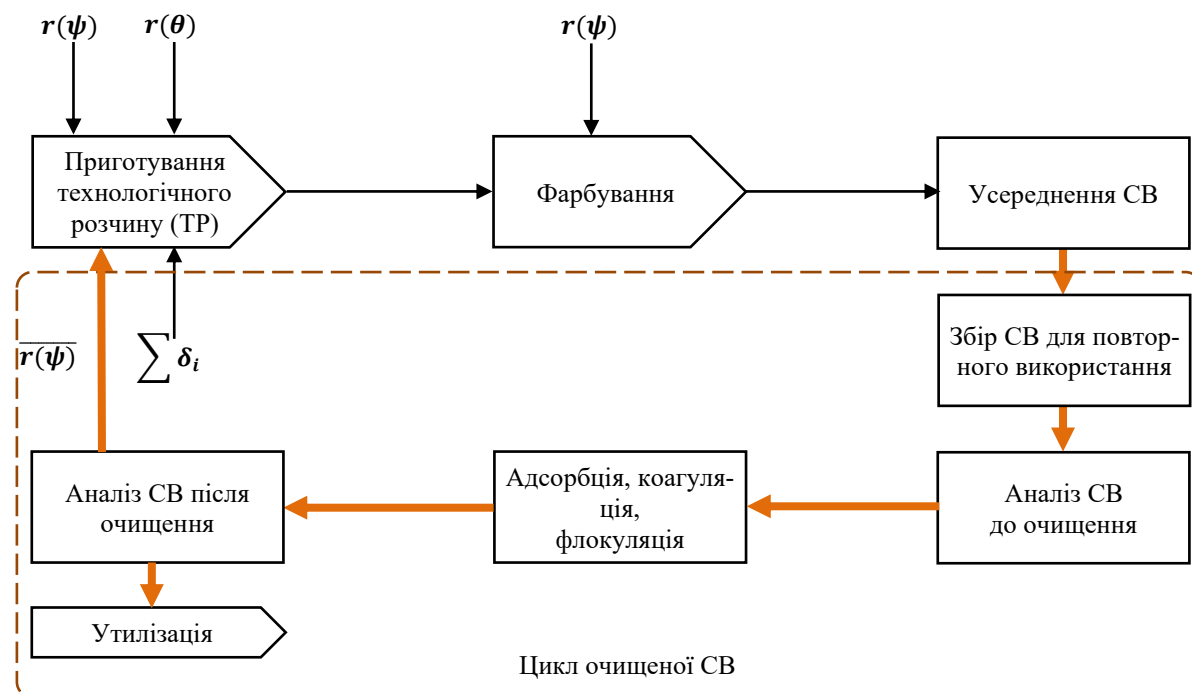


Рис. 5. Алгоритм процесу фарбування тканини із застосуванням принципу повторного використання стічною водою (СВ), очищеною способом адсорбції:

$r(\psi)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу води; $r(\theta)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу барвника; $\overline{r(\psi)}$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу води; $\overline{r(\theta)}$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу барвника; $\sum \delta_i$ – керуюча дія сукупності допоміжних речовин

Отримані результати за стійкістю фарбування знаходяться в межах норми. Увесь масив експериментальних даних містить результати кількісних і якісних показників фарбування тканин дисперсними, прямими та активними барвниками.

Другий спосіб повторного використання стічної води полягає у використанні концентрованих стічних вод з обладнання періодичної дії, де мають місце залпові скиди.

Після плюсування тканини фарбувальним розчином і забезпечення відповідного кольору згідно з технологічним режимом, коли сорбція барвника волокном досягла максимуму, залишкові фарбувальні ванни, що підлягають скидам, мають концентрацію барвника 1,5–2,0 г/л, що відповідає втратам барвника на рівні 25–40 %.

Повторне використання концентрованої стічної води здійснювалася для фарбування віскозної тканини прямими барвниками. Експериментальні дослідження включали такі етапи:

- фізико-хімічний аналіз та розрахунок залишкової концентрації барвника в концентрованій воді;
- забезпечення параметрів оптимальних умов для сорбції барвника волокном і концентрації фарбувального розчину;
- фарбування текстильних матеріалів із подальшим визначенням інтенсивності забарвлення;
- визначення відповідності пофарбованих зразків еталонним параметрам і показникам якості одержаних забарвлень.

Можливість повторного використання концентрованої стічної води досліджувалася в лабораторних умовах при фарбуванні віскозних підкладкових тканин на лабораторній фарбувальній машині «Ahiba nuance top speed» (США) барвником прямим червоним світлостійким та перевірялася у виробничих умовах. Забезпечення умов максимальної сорбції прямих барвників до волокна витримувалися за наступних технологічних вимог процесів фарбування: барвник – 2 % від ваги тканини, електроліт – 15 г/л, сода – 0,3 г/л.

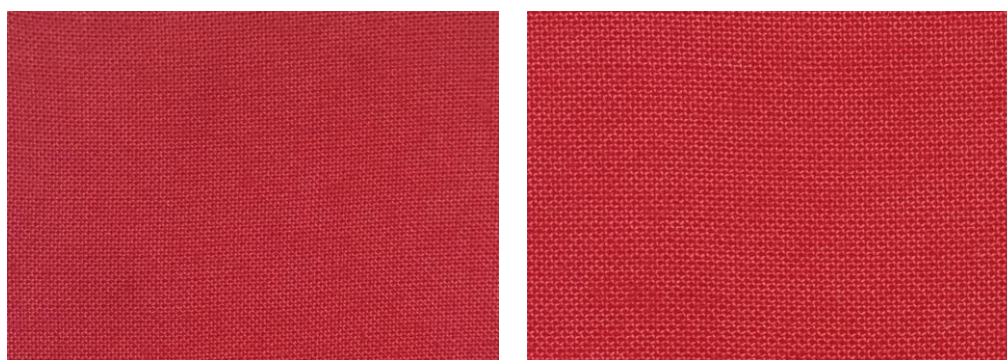
Колірні характеристики одержаних забарвлень наведені в таблиці 3. На рисунку 6 зображені фото одержаних пофарбованих зразків тканини.

Таблиця 3

Колірні характеристики пофарбованої тканини «Віскоза» (арт. 3324) барвником прямим червоним світлостійким 3 порівняно з існуючою технологією ПрАТ «ЧШК»

Водні умови фарбування	Світлість dL	Відтінок червоно-зелений dA	Відтінок (жовто-синій) dB	Кольорова відмінність dE*	Інтенсивність забарвлення, % відповідно до еталона (100%)
Технологія з повторним використанням стічної води	+0,37 світліший	+1,07 червоніший	+0,43 жовтіший	1,22	96,3

Примітка. Кольорова відмінність – математичне уявлення, що дає змогу чисельно виразити відмінність між двома кольорами в колориметрії. dE не має перевищувати 2, що приблизно відповідає мінімально помітній для людського ока відмінності між кольорами.



а

б

Рис. 6. Зразки пофарбованої тканини «Віскоза» (арт. 3324) барвником прямим червоним світлостійким:

а – за існуючою технологією; б – з повторним використанням концентрованої стічної води

Стійкість забарвлення отриманих зразків, бали: сухе тертя – 3/3-4; мокре тертя – 2/2-3; дія мила – 3/3.

Алгоритм технологічних операцій, за якими пропонується здійснювати процес фарбування текстильних матеріалів з повторним використанням концентрованої стічної води, наведений на рисунку 7.

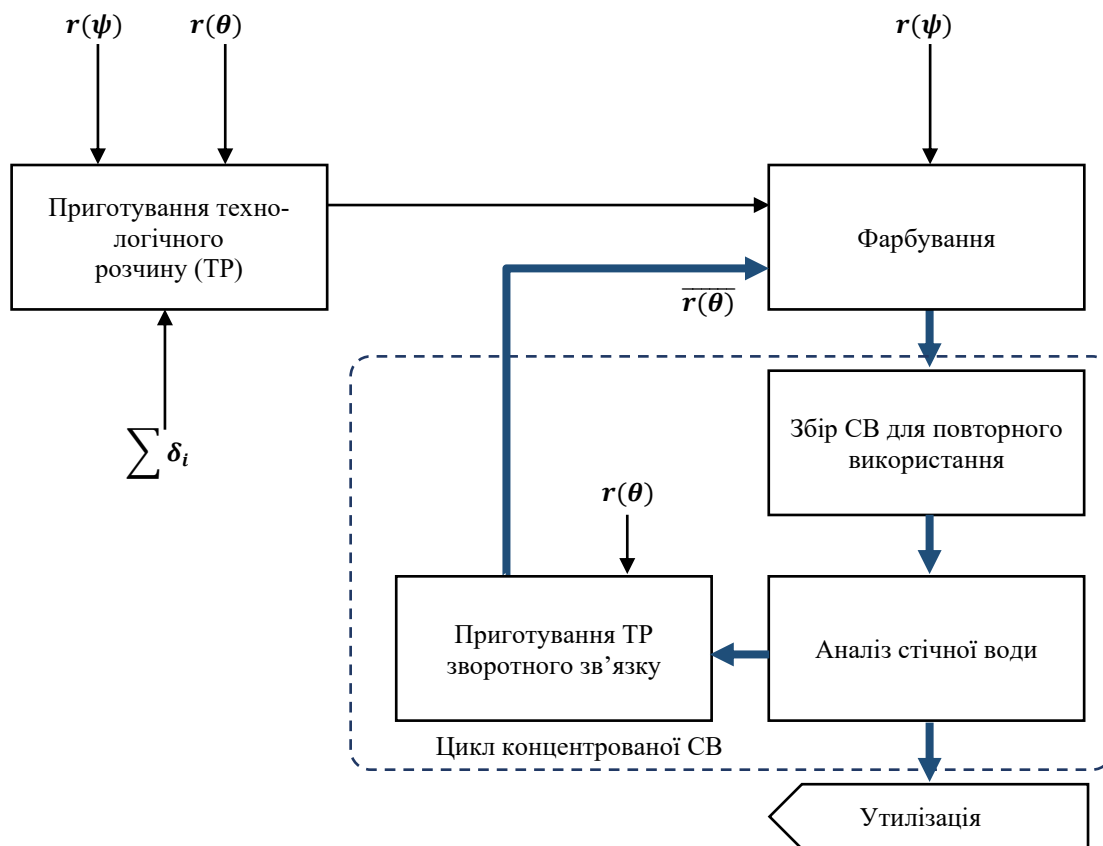


Рис. 7. Алгоритм процесу фарбування тканини із застосуванням принципу повторного використання концентрованої стічною води:

$r(\psi)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу води; $r(\theta)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу барвника; $\overline{r(\psi)}$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу води; $\overline{r(\theta)}$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу барвника;

$\sum \delta_i$ – керуюча дія сукупності допоміжних речовин

Отримані результати експериментальних досліджень можуть слугувати для створення наукових основ ресурсозбереження в технологіях фарбування текстильних матеріалів, які ґрунтуються на виборі методу очищення стічних вод природними сорбентами, створення технологічної схеми із повторним використанням стічних вод (очищених та концентрованих) в технології фарбування текстильних матеріалів.

Два наведені алгоритми, в основу яких покладений принцип повторного використання стічних вод, є складовими частинами однієї комплексної технології фарбування текстильних матеріалів. Функціональні зв'язки та компоненти наведених алгоритмів є самодостатніми та за своїм складом і призначенням елементів взаємно не суперечать, тому до них можна застосувати метод математичної композиції.

Характерною особливістю кожної із наведених схем алгоритмів є наявність процесу утилізації в ланцюгах зворотних зв'язків, як ланки в циклі повторного використання ресурсів, у якій оцінюються показники зворотної води, їх відповідність до рецептурних ви-

мог та приймається рішення на вихід із циклу за умов, заданих відповідними алгоритмічними параметрами. Відсутність такої оцінки створює умови для нескінченної чисельності ітерацій циклів (повторів) виконання, що є неможливим насамперед з точки зору технічного виконання, тому така технологія не може бути реалізованою з необхідним рівнем ефективності. Тобто при алгоритмічно заданих умовах цикли повинні перериватися. Необхідність наявності ланки утилізації з таким алгоритмічним змістом обґрунтовано науково, емпіричним шляхом. У представленій роботі це доводиться результатами серії експериментів. Встановлено, що застосування принципу повторного використання одного об'єму очищеної стічної води знаходиться в межах $K_{max} = 3$, або $1 \leq k_i \leq 3$, де K_{max} – максимальна кількість повторних циклів, k_i – i -та ітерація в циклі, $i = \overline{1, 3}$. Доведено, що при такому застосуванні повторного використання стічної води як ресурсу в технологіях фарбування, при $K_{max} = 3$ досягається головний критерій процесу фарбування тканин, а саме – інтенсивність забарвлення тканини не може виходити за межі 95% (згідно з еталоном), де фарбування вважається не виконаним. А саме:

$$95\% < \omega^{ij} < 100\%, \text{ при } \omega^{ij} \in \Omega,$$

де ω^i – значення інтенсивності фарбування i -того зразку для j -ого фарбування;

Ω – множина еталонів зразків фарбування.

Висновки. Традиційна технологія фарбування текстильних матеріалів має основний недолік – утилізації підлягають значні обсяги ресурсів (барвників, води), які можна повторно використати, що за своєю значимістю суттєво впливає на собівартість готової продукції.

Серією експериментальних досліджень вперше визначено можливість повторного використання адсорбційно очищеної та концентрованої стічних вод в процесі фарбування текстильних матеріалів на прикладі барвників дисперсного темно-синього 3 та прямого червоного світлостійкого, що науково доводить можливість повторного використання таких ресурсів, як барвники та вода, із максимальною відповідністю до критерію інтенсивності забарвлення в межах 95 %.

Вперше в роботі у вигляді схем наведені алгоритми процесів фарбування тканини із застосуванням принципу повторного використання адсорбційно очищеної та концентрованої стічних вод.

Список використаних джерел

1. Барсуков В. З. Глубіш Петро Андрійович / В. З. Барсуков // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2006. – Режим доступу: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=30470.
2. Романенко Н. Г. Экологическая оптимизация процессов крашения / Н. Г. Романенко. // Вестник Херсонского государственного технического университета, 1998. – № 3 (3). – С. 337-339.
3. Краснобородько И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородько. – Л. : Химия, 1988. – 192 с.
4. Стратегія розвитку Черкаської області на період 2021-2027 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ck-oda.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/18082022.pdf>.
5. Сорбенты в очистке сточных вод красильно-отделочного производства / М. В. Пыркова, И. И. Меньшова, Е. А. Фролова, Э. М. Чупартинова // Бутлеровские сообщения. – 2014. – Т. 37. – № 2. – С. 52-56.
6. Нестерова Л. А. Разработка технологии очистки сточных вод после процесса крашения текстильных материалов активными красителями. / Л. А. Нестерова, Л. Н. Кондратюк, Г. С. Сарыбеков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/6 (47). – С. 35-37.
7. Мамитова А. Д. Разработка и исследования технологии очистки сточных вод красильно-отделочных производств / А. Д. Мамитова, Р. А. Атаханова // Геология, география и глобальная энергия. – 2010. – № 2 (37). – С. 144-147.
8. Петрушка І. М., Леськів Г. З., Плахтій Г. І. Очищення стічних вод від барвників природними сорбентами / І. Петрушка, Г. Леськів, І. Плахтій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2003. – № 488. – С. 230–233.

9. Shoumkova A. Zeolites for water and wastewater treatment: An overview / A. Shoumkova // Res. Bull. Aust. Inst. High Energetic Mater. Spec. Issue Glob. Fresh Water Short. – 2011. – Vol. 2. – Pp. 10–70.
10. Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use [Electronic resource] / Karmen Margeta, Nataša Zabukovec Logar, Mario Šiljeg, Anamarija Farkaš // Water Treatment. – 2013. – 394 p. – Accessed mode: <http://dx.doi.org/10.5772/50738>.
11. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды от дисперсных примесей / Ю. И. Тарасевич. – К. : Либідь, 1981. – 208 с.
12. Овчаренко Ф. Д. Черкасское месторождение бентонитовых и палыгорскитовых глин / Ф. Д. Овчаренко, Н. Г. Кириченко., А. Б. Островская. – К. : Наукова думка, 1966. – 126 с.
13. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. Т. 3: С – Я. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Східний видавничий дім, 2013. – 644 с.
14. Пат. 151829 У Україна. МПК C02F 1/28 (2006.01) Спосіб очищення мультикомпонентних стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва. / М. Г. Коваль, В. Г. Кузьменко, Н. Г. Романенко (Україна). – Заявник та патентовласник Черкаський державний технологічний університет – № u2021 05931; заявл. 22.10.2021; опубл. 21.09.2022; Бюл. № 38. – 5 с.
15. Пат 151832 У Україна. МПК D06P 1/00 D06P 7/00 C02F 1/00 C02F 1/463 (2006.01) C02F 1/52 (2006.01). Технологічна система комплексу очищення стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва природним цеолітом / М. Г. Коваль, В. Г. Кузьменко. – Заявник та патентовласник Черкаський державний технологічний університет - № u2021 06700; заявл. 26.11.2021; опубл. 21.09.2022; Бюл. № 38. – 4 с.

References

1. Barsukov, V.Z. (2006). Hlubish Petro Andriiovych. In I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskyi, M. H. Zhelezniak (Eds.), *Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy – Encyclopedia of Modern Ukraine*. https://esu.com.ua/search_articles.php?id=30470.
2. Romanenko, N.H. (1998). Ekolohycheskaia optimizatsiia protsessov krasheniia [Ecological optimization of dyeing processes]. *Vestnyk Khersonskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta – Bulletin of the Kherson State Technical University*, (3(3)), 337-339.
3. Krasnoborodko, I.H. (1988). *Destruktivnaia ochistka stochnykh vod ot krasitelei [Destructive wastewater treatment from dyes]*. Khymyia.
4. Stratehiia rozvytku Cherkaskoi oblasti na period 2021-2027 [Strategy for the development of the Cherkasy region for the period 2021-2027]. <https://ck-oda.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/18082022.pdf>.
5. Pyrkova, M.V., Menshova, I.I., Frolova, E.A., & Chupartinova, E.M. (2014). Sorbenty v ochistke stochnykh vod krasilno-otdelochnogo proizvodstva [Sorbents in wastewater treatment of dyeing and finishing production]. *Butlerovskie soobshcheniia – Butlerov Communications*, 37(2), 52-56.
6. Nesterova, L.A., Kondratiuk, L.N., & Sarybekov, H.S. (2010). Razrabotka tekhnologii ochistki stochnykh vod posle protsessa krasheniia tekstylnykh materialov aktivnymi krasiteliamy [Development of wastewater treatment technology after the process of dyeing textile materials with active dyes]. *Vostochno-evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Advanced Technologies*, (5/6(47)), 35-37.
7. Mamitova, A.D., Atakhanova, R.A. (2010). Razrabotka i issledovaniia tekhnologii ochistki stochnykh vod krasilno-otdelochnykh proizvodstv [Development and research of wastewater treatment technologies for dyeing and finishing productions]. *Heolohyia, heohrafiya y hlobalnaia enerhyia – Geology, geography and global energy*, (2(37)), 144-147.
8. Petrushka, I.M., Leskiv, H.Z., Plakhtii, H.I. (2003). Ochyshchennia stichnykh vod vid barvnykivpryrodnymy sorbentamy [Purification of wastewater from dyes with natural sorbents]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika” – Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”*, (488), 230–233.
9. Shoumkova, A. (2011). Zeolites for water and wastewater treatment: An overview. *Res. Bull. Aust. Inst. High Energetic Mater. Spec. Issue Glob. Fresh Water Short.*, 2, 10–70.
10. Karmen Margeta, Nataša Zabukovec Logar, Mario Šiljeg, Anamarija Farkaš. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. *Water Treatment*. <http://dx.doi.org/10.5772/50738>.

11. Tarasevych, Yu.Y. (1981). *Prirodnye sorbenty v protsessakh ochistki vody ot dispersnykh primesei [Natural sorbents in water purification processes from dispersed impurities]*.
12. Ovcharenko, F.D., Kyrychenko, N.H., & Ostrovskaia, A.B. (1966). *Cherkasskoe mestorozhdenie bentonitovykh i palyhorskitovykh glin [Cherkassy deposit of bentonite and palygorskite clays]*. Naukova dumka.
13. Biletskyi, V. S. (Ed.). (2013). *Mala hirnycha entsyklopediia [Small mining encyclopedia]* (Vol. 3). Skhidnyi vydavnychiy dim.
14. Koval, M.H., Kuzmenko, V.H., & Romanenko, N.H. (2022). Sposib ochyshchennia multykomponentnykh stichnykh vod farbuvalno-ozdobliuvalnoho vyrobnytstva [The method of cleaning multicomponent wastewater of dyeing and finishing production]. (Pat. 151829 U Ukraine. IPC C02F 1/28 (2006.01)). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy.
15. Koval, M.H., & Kuzmenko, V.H. (2022). Tekhnolohichna systema kompleksu ochyshchennia stichnykh vod farbuvalno-ozdobliuvalnoho vyrobnytstva pryrodnym tseolitom [Technological system of the wastewater treatment complex of dyeing and finishing production with natural zeolite]. (Pat 151832 U Ukraine. IPC D06P 1/00 D06P 7/00 C02F 1/00 C02F 1/463 (2006.01) C02F 1/52 (2006.01)). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy.

Отримано 03.12.2022

UDC 677.027.4:[628.3:66.081.3]

Myroslava Koval¹, Nataliya Romanenko²

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Water Treatment
Cherkasy State University of Technology, (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: m.koval@chdtu.edu.ua. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9680-8052>

²Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Design Department
Cherkasy State University of Technology, (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: romanenko_n_g@ukr.net. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2161-5736>

THE PRINCIPLE OF REUSE OF WASTEWATER IN THE PROCESSES OF DYEING TEXTILE MATERIALS

The high cost of textile products and the significant consumption of water, dyes, auxiliary substances, heat and electricity during their production prompt the creation of new resource-saving technologies for dyeing textile materials that would reduce the cost of textile products and reduce the environmental impact on the country's water resources.

Multicomponent wastewater from dyeing and finishing plants contains a mixture of synthetic dye residues (25-40% on average) and auxiliary substances, which is a serious hazard. Therefore, the problem of treating wastewater to a degree of purification that can be reused as recycled water in the fabric dyeing process is urgent. While posing risks to the environment through water pollution, wastewater is a high-quality secondary raw material that can be reused in the process of dyeing textile materials.

The analysis of research and publications on the reuse of wastewater from dyeing and finishing production in the processes of dyeing textile materials showed that the topic covered was not sufficiently studied, which justifies the relevance of the work, practical prospects and significance of the experimental results obtained.

The purpose of the experimental research is to obtain empirical results proving the possibility of reusing adsorption-treated and concentrated wastewater in textile dyeing technologies, to create new algorithms for the fabric dyeing process, which will predictably lead to resource conservation and environmental protection.

A series of experimental studies has for the first time determined the possibility of reusing adsorption-treated and concentrated wastewater in the process of dyeing textile materials on the example of dispersed dark blue and direct red lightfast dyes, which scientifically proves the possibility of reusing such resources as dyes and water with maximum compliance with the color intensity criterion within 95%.

For the first time, the paper presents algorithms for fabric dyeing processes using the principle of reuse of adsorption-treated and concentrated wastewater in the form of diagrams.

Keywords: dyeing and finishing production; wastewater; dyeing; textile materials; dye; zeolite; adsorption.

Table: 3. Fig.: 7. References: 15.