

УДК 677.027.4:[628.3:66.081.3]
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/32>

Коваль М.Г.

Черкаський державний технологічний університет

ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЦИКЛІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯМ РЕСУРСІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ФАРБУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (НА ПРИКЛАДІ БАРВНИКА ДИСПЕРСНОГО ТЕМНО-СИНЬОГО 3)

У статті приводиться висунута гіпотеза про можливість практичного використання стічної води (очищеної та концентрованої) фарбувально-оздоблювального виробництва в процесі фарбування текстильних матеріалів. Так як традиційна технологія фарбування має значні витрати ресурсів (барвників, води, електроенергії), усунути цю проблему можна за рахунок створення ресурсозберігаючої технології фарбування текстильних матеріалів, що значно зменшить собівартість процесу фарбування. З метою оптимального використання дороговартісних ресурсів, у статті надається принципова схема технології фарбування тканини, що включає в себе два цикли: цикл з повторним використанням очищеної стічної води до стану технологічної (адсорбційне очищення доступним за вартістю природним сорбентом цеолітом) та цикл з використанням концентрованої стічної води, одержаної безпосередньо після процесу фарбування із фарбувальної ванни (на прикладі текстильного барвника Дисперсного темно-синього 3). Представлена серія експериментальних досліджень, виконаних в реальних виробничих умовах на базі діючого фарбувально-оздоблювального виробництва в м. Черкаси (Україна), науково доводить достовірність висунутої гіпотези про можливість повторного використання таких ресурсів, як барвники та вода, із максимальною відповідністю до критерію інтенсивності забарвлення в межах 95%.

У статті наводиться математична формалізація визначених головних та локальних задач наукового дослідження, для реалізації яких сформульовані наступні критерії: основні (кінцеві), які полягають у досягненні результатів фарбування текстильних матеріалів в певних параметрах інтенсивності забарвлення та допоміжних критеріїв: оптичної густини розчинів барвників та їх концентрацій у фарбувальних ваннах.

Весь обсяг експериментальних даних містить масив проведених в межах цього дослідження результатів показників фарбування різних видів тканин Прямими та Активними барвниками. Проведений обсяг робіт за своїми результатами вважається успішним.

Ключові слова: технологія фарбування, текстильні матеріали, барвник, стічна вода, адсорбція, цеоліт, очищення стічних вод, повторне використання стічних вод, цикл, ресурсозбереження.

Постановка проблеми. Розвиток текстильної промисловості пов'язаний як зі споживанням матеріальних та енергетичних ресурсів, так і з утворенням продуктів та відходів, що призводить до виснаження сировинних ресурсів та до забруднення навколишнього середовища. Згідно до декларації про маловідходні та безвідходні технології та використання відходів ЄЕК ООН (Женева, 1979 р.), одними із основних напрямків впровадження ресурсозберігаючих технологій є створення замкнених (циклічних) систем водокористування та рекуперация (зворотне повернення) виробничих відходів.

Фарбувально-оздоблювальне виробництво, яке діє на ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» («ЧШК», м. Черкаси) є одним із найбільш ключових та ємких етапів в процесі використання водних

та електроресурсів текстильної промисловості. Велика кількість органічних барвників та допоміжних речовин, що містяться в стічних водах, які є виробничими відходами, створюють ризики для навколишнього середовища через його забруднення. Тому, відповідно до «Стратегії розвитку Черкаської області на період 2021–2027 роки» згідно із положенням стратегічної цілі «Висока якість життя: екологія, безпека, інфраструктура» нагальним є питання створення технологій, які б забезпечували зниження собівартості текстильної продукції та зменшення екологічного навантаження під час її виготовлення та обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із перспективних способів реалізації циклічної технології є створення технологічних схем із адсорбційним очищенням стічних вод.

Існують дослідження, які висвітлюють адсорбційне очищення стічної води, забрудненої барвниками, використовуючи, як адсорбент, активоване вугілля, бентонітову глину, цеоліти. Так, активованим вугіллям доцільніше адсорбувати ті текстильні барвники, які мають невелику молекулярну масу і легше проникають в пори сорбенту [1]. Недоліком таких досліджень є використання дороговартісного сорбенту та використання для очищення лише модельних розчинів барвників, а не реальної стічної води виробництва.

Херсонські науковці [2] в своїй роботі досліджували сорбційний, коагуляційний та хімічний способи очищення стічних вод після фарбування активними барвниками природним сорбентом А. Довели, що при повторному використанні очищених стічних вод в процесі фарбування тканини активними барвниками, суттєво знижується якість пофарбованих тканин.

Мамитова А.Д. (Південно-Казахський державний університет, Казахстан) досліджувала адсорбційні властивості активованої шкарлупи кісточок в процесі очищення стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва [3]. Визначено, що запропонований адсорбент гарно знижує кольоровість стічної води, але стічна вода потребує доочищення, використання коагулянта.

Дослідження щодо вивчення адсорбційних властивостей природного цеоліту описано в наукових роботах [4, 5]. Відомо, що для покращення адсорбційної здатності цеоліту, його попередньо потрібно кислотно модифікувати. Так, Тарасевич Ю.І. [6, с. 69–70] рекомендує проводити хімічну

модифікацію прожареного цеоліту 0,3Н розчином хлоридної кислоти.

Професор Мальований М.С. із науковцями Львівської політехніки [7] проводили дослідження щодо використання природних сорбентів бентонітів та палигорскітів в процесі очищення модельних розчинів текстильного барвника аніонного червоного. Встановлено вигляд кінетичної кривої у випадку використання для цього процесу для різних типів природних сорбентів. Вибір для досліджень саме цих адсорбентів обумовлений тим, що їх вартість є невеликою порівняно з вартістю інших адсорбентів, а адсорбційна ємність достатня для використання сорбентів в природоохоронних технологіях.

Отже, адсорбційне очищення дозволяє здійснити процес з використанням відносно недорогих природних матеріалів, які в подальшому можуть бути використані задля інших потреб в різних галузях промисловості, при цьому забезпечуючи високу ефективність очищення стічних вод з можливим поверненням їх у технологічний процес підприємства. Але не вирішеною залишається задача можливості практичного використання очищених та концентрованих стічних вод в процесі повторного фарбування текстильних матеріалів.

Постановка завдання. Основними ресурсами, які забезпечують створення технологічних компонентів фарбувально-оздоблювального виробництва (розчинів барвників, фарбувальних ванн тощо) є органічні барвники, вода та електроенергія (рис. 1).

Тож, з метою енерго- та ресурсозаощадження висувається гіпотеза щодо створення оборотного

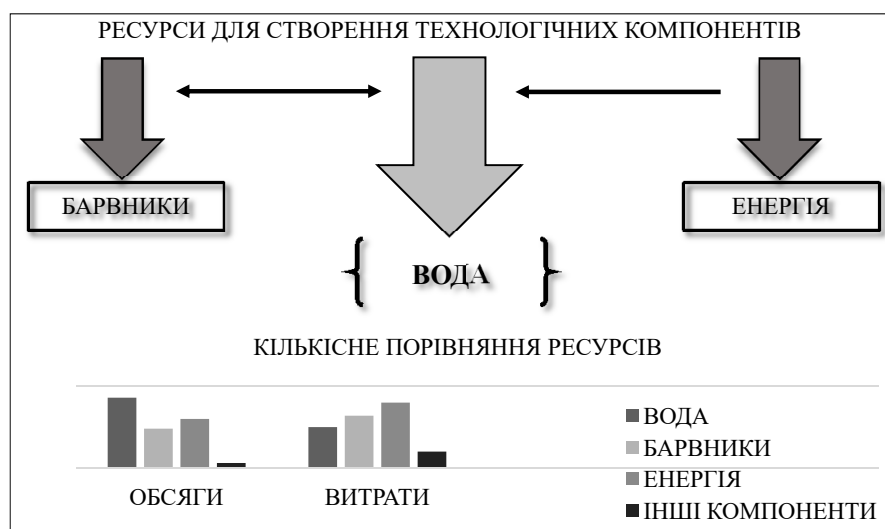


Рис. 1. Ресурси та їх аналіз для створення технологічних компонентів в процесі фарбування текстильних матеріалів

(циклічного) використання стічних вод в технології фарбування текстильних матеріалів.

Основними передумовами для формування основної гіпотези для наукового дослідження є:

– існування природних сорбентів з такими сорбційними властивостями, застосування яких дозволяє очистити стічну воду фарбувально-оздоблювального виробництва до початкового технологічного стану;

– після повного циклу фарбування в концентрованих стічних водах присутня певна кількість барвників, тобто є активні молекули. Такі розчини можна застосовувати для повторного використання в технології фарбування тканини. Ця гіпотеза була підтверджена лабораторними дослідженнями на реальному виробництві ПрАТ «ЧШК» (м. Черкаси, Україна). Вміст деяких класів барвників у концентрованих стічних водах наведений на рис. 2.

– циклічне використання ресурсів дозволить знизити ризики негативного впливу на навколишнє середовище;

– циклічне використання ресурсів призведе до економічного ефекту у технології фарбування текстильних матеріалів та в технологіях утилізації шкідливих відходів (забрудненої стічної води).

Головною гіпотезою наукового дослідження є можливість використання стічних вод (очищених та концентрованих) в технології фарбування текстильних матеріалів.

Метою експериментальних досліджень є отримання емпіричних результатів, що доводять можливість повторного використання стічних вод в технології фарбування текстильних матеріалів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виходячи із визначених гіпотез та проведеного аналізу проблеми, є можливість формалізувати задачі та цілі наукового дослідження шляхом їх математичного опису. Враховуючи те, що технологія фарбування текстильних матеріалів розглядається як складний технологічний про-

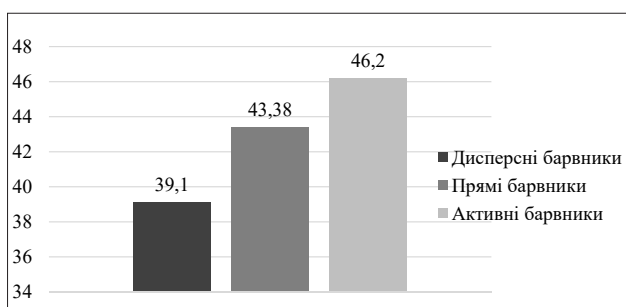


Рис. 2. Вміст барвників в концентрованій стічній воді фарбувально-оздоблювального виробництва

цес із залученням окремих об'єктів, їх можна виразити як:

$$U \equiv \langle \Psi, \Theta, E, \Delta \rangle$$

де U – технологія, Ψ – вода, Θ – текстильний барвник, E – використання електроенергії, Δ – сукупність допоміжних ресурсів.

Математична постановка головної задачі записується наступним виразом:

$$C(U) \xrightarrow{\mathbb{R} \rightarrow \min} \min,$$

де $C(U)$ – функція вартості витрат на технологію фарбування текстильних матеріалів, \mathbb{R} – ресурси технології фарбування текстильних матеріалів, які загально можна виразити короткем:

$$\mathbb{R} := \langle \Psi, \Theta, \Delta \rangle.$$

Математичний вираз вказує на створення такої функції витрат на фарбування тканин, яка при заданих умовах і початкових даних, обмеженнях і критеріях буде прагнути до зменшення в порівнянні із діючим показниками витрат існуючої технології.

Таким чином, для вирішення головної задачі можна сформулювати локальні задачі, які виражаються таким чином:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbb{R}(\Psi, \Theta) \rightarrow \min \\ E(\Psi) \rightarrow \min \end{array} \right\} \Rightarrow C(\mathbb{R}, E)$$

де Ψ – вода, Θ – текстильний барвник, \mathbb{R} – ресурси технології фарбування текстильних матеріалів, E – використання електроенергії.

Цей функціонал вказує на те, що із результату вирішення локальних задач визначається основна функція вартості технології фарбування, яка залежить від ресурсів та енергії.

Для вирішення цих локальних задач сформульовані наступні критерії: основні (кінцеві), які полягають у досягненні результатів фарбування в певних параметрах інтенсивності забарвлення, що виражаються такою нерівністю:

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

де ω^i – значення інтенсивності фарбування i -того зразку для j -ого фарбування; Ω – множина еталонів зразків.

Виконання основного критерію можливе при розв'язанні наступних допоміжних критеріїв: оптичної густини розчинів барвників та їх концентрацій у фарбувальних ваннах.

$$D^{\theta^i} \xrightarrow{\lambda} \max \text{ при } \varepsilon = \frac{D^{\theta^i}}{c \cdot l},$$

де ε – коефіцієнт екстинції для i -того барвника Θ ; λ – довжина хвилі, нм

Експериментальні дослідження здійснюються за такими напрямками:

1. Повторне використання очищених стічних вод. Включає в себе такі етапи:
 - фізико-хімічний аналіз стічних вод;
 - вибір сорбенту;
 - дослідження процесу адсорбції компонентів стічної води з подальшою коагуляцією та флокуляцією;
 - фізико-хімічний аналіз стічних вод;
 - порівняльний аналіз показників очищених стічних вод та технологічної води для виробництва;
 - процес фарбування текстильних матеріалів, визначення інтенсивності фарбування;
 - визначення відповідності пофарбованих зразків еталонним параметрам і показникам якості одержаних забарвлень.
2. Використання концентрованої стічної води після фарбування тканини:
 - фізико-хімічний аналіз стічних вод;
 - приведення концентрованих стічних вод до параметрів фарбувального розчину (фарбувальної ванни);
 - фарбування текстильних матеріалів з подальшим визначенням інтенсивності забарвлення;
 - визначення відповідності пофарбованих зразків еталонним параметрам і показникам якості одержаних забарвлень.

3. Математична обробка одержаних результатів:
 - моделювання фізико-хімічних процесів, досліджених в експерименті;
 - статистична обробка результатів.

Результати експериментальних досліджень слугують для створення наукових основ побудови ресурсозберігаючої технології фарбування текстильних матеріалів, які ґрунтуються на виборі методу очищення стічних вод природними сорбентами, рекомендаціями щодо поліпшення процесу відведення стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва та створення технологічної схеми повторного використання стічних вод (очищених та концентрованих) в технології фарбування текстильних матеріалів.

Для досягнення поставлених задач щодо створення нової ресурсозберігаючої технології, за основу було взято базову діючу принципову технологічну схему фарбування тканини фарбувально-оздоблювального виробництва ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» (м. Черкаси) (рис. 3).

Принципово нова схема, яка пропонується до використання відповідно до плану експериментальних досліджень, представлена на рис. 4.

Для підтвердження висловленої гіпотези, в реальних виробничих (лабораторних) умовах ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» (м. Чер-

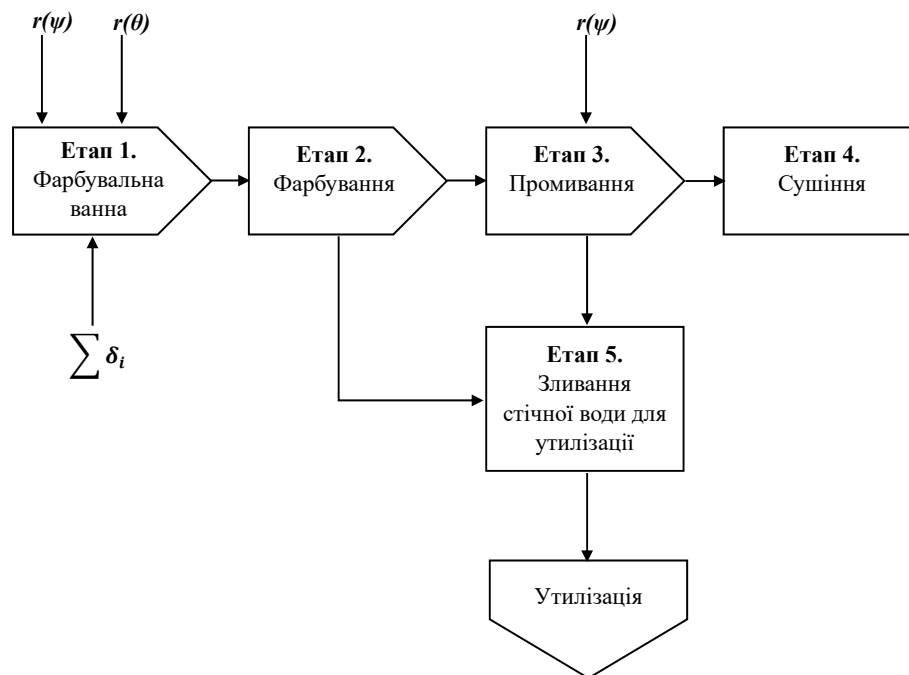


Рисунок. 3 Схема процесу фарбування тканини на реальному виробництві $r(\psi)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу води; $r(\theta)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу барвника; $\Sigma \delta_i$ – керуюча дія сукупності допоміжних речовин

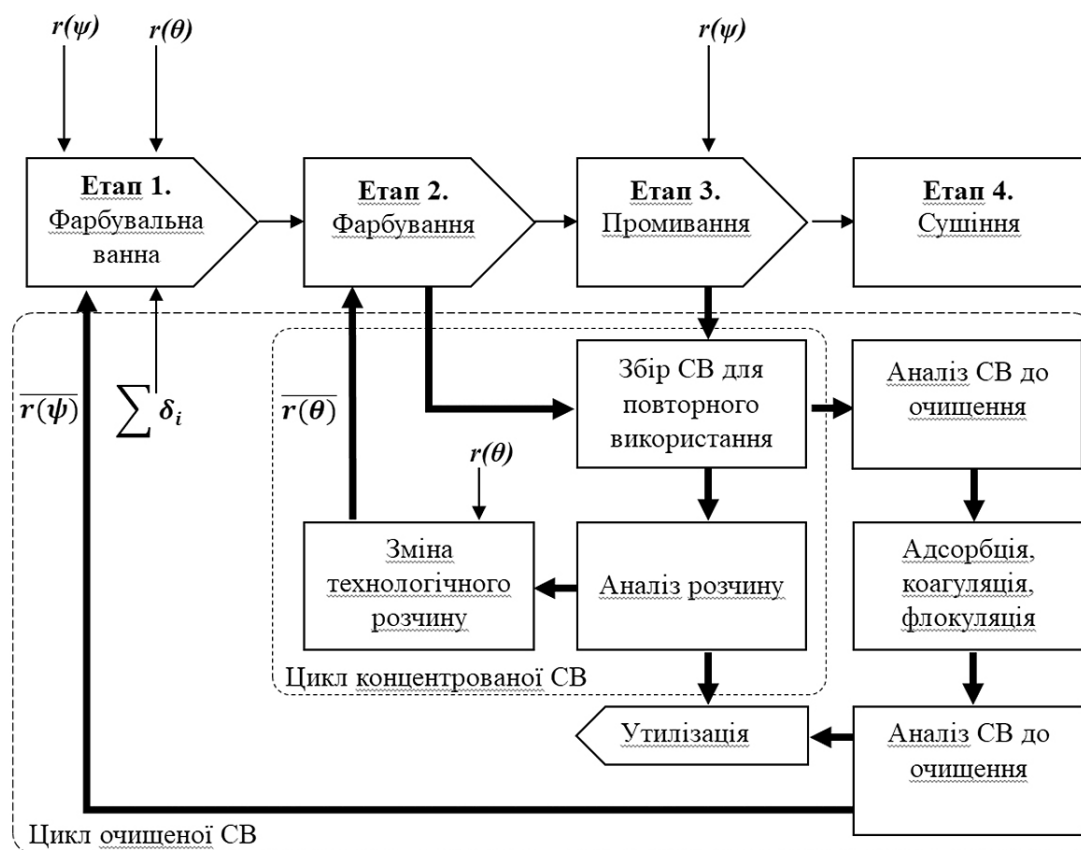


Рис. 4. Принципова схема технології фарбування тканини з циклічним використанням стічної води (СВ) (очищеної та концентрованої): $r(\psi)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу води; $r(\theta)$ – керуюча дія початкового використання ресурсу барвника; $\bar{r}(\psi)$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу води, $\bar{r}(\theta)$ – керуюча дія циклічного використання ресурсу барвника, $\sum \delta_i$ – керуюча дія сукупності допоміжних речовин

каси). здійснювалося фарбування поліефірної тканини дисперсними барвниками за двома запропонованими технологічними циклами із використанням очищеної та концентрованої стічної води.

При виконанні експериментальних досліджень використовували такі матеріали: природний цеоліт (сокирніт) Сокирницького родовища Закарпатської області (Україна) з розміром фракції 1–5 мм, [8]; тканина «Поліефір» (арт. 033) – синтетична тканина, одержана методом екструзії полімерного сплаву поліетилентерефталату [9]; оцтова кислота CH_3COOH (98%) – кислотний реагент для фарбування дисперсними барвниками; текстильний барвник Дисперсний темно-синій 3 Використовують для фарбування гідрофобних волокон. Волокно фарбується за рахунок розчинення дисперсних барвників у волокні (утворюється твердий розчин) [10, с. 42].

За технологічним циклом із використанням очищеної стічної води, промислова стічна вода підлягала адсорбційному очищенню кислотно

модифікованим природним цеолітом Сокирницького родовища та використовувалася повторно, як технологічна, в процесі фарбування тканини [11, 12]. Фарбування здійснювали на лабораторній фарбувальній машині «Ahiba nuance top speed» (США). Визначалися колірні характеристики одержаних забарвлень, результати яких зображені в табл. 1.

Якість та стійкість одержаних забарвлень здійснювали шляхом їх оцінювання та порівнювання із еталоном (зразки ПрАТ «ЧШК») за зміною первинного забарвлення і зафарбовування суміжних тканин відповідно до діючих державних стандартів України (ГОСТ 9733.0-83, ГОСТ 9733.27-83, ГОСТ 9733.4-83) Якісні показники стійкості забарвлень вимірювали на приладі «Stainingtester» (Угорщина). Результати представлені в табл. 2

Весь обсяг експериментальних даних містить масив проведених в межах цього дослідження результатів показників фарбування різних видів тканин Прямими та Активними барвниками.

Колірні характеристики пофарбованої тканини «Полефір» (арт. 033) дисперсним барвником

Барвник	Світлість dL	Відтінок (червоно- зелений) dA	Відтінок (жовто-синій) dB	Колірне відхилення dE*	Інтенсивність забарвлення, % до еталону	
Дисперсний темно-синій 3	Фарбування за технологічним циклом з очищеною стічною водою					
	базова рецептура				100,0	
	стічна вода	-0,01 темніший	+0,05 червоніший	-0,19 синіший	0,2	99,9
	Фарбування за технологічним циклом з концентрованою стічною водою					
	базова рецептура				100,0	
стічна вода	+0,66 світліший	-1,82 зеленіший	+0,56 жовтіший	1,98	95,4	

* Колірне відхилення – відстань між двома кольорами у певному просторі. Визначає різницю між кольорами. Згідно з державними стандартами на текстильну продукцію, колірне відхилення dE не повинне перевищувати 2.

Таблиця 2

Якісні показники одержаних забарвлень

Барвник	Стійкість забарвлення, бали					
	сухе тертя		мокре тертя		дія мила	
	очищена стічна вода	концентро- вана стічна вода	очищена стічна вода	концентро- вана стічна вода	очищена стічна вода	концентро- вана стічна вода
Дисперсний темно-синій 3	2/2	2/2	2/2	3/3	4/4	4/4

Проведений обсяг робіт виконаний у виробничих лабораторних умовах та за своїми обсягами і результатами вважається успішним.

Висновки

1. Традиційна технологія фарбування текстильних матеріалів має основний недолік – утилізації підлягають значні обсяги ресурсів (барвників, води), які можна повторно використати та які, за своєю значимістю, значним чином впливають на собівартість процесу фарбування.

2. З метою оптимального використання дороговартісних ресурсів, пропонується циклічна схема технології фарбування тканини, що вклю-

чає в себе два цикли: технологію з використанням очищеної стічної води та технологію з використанням концентрованої стічної води.

3. Серією експериментальних досліджень визначено можливість циклічного використання очищеної та концентрованої стічних вод в технології фарбування текстильних матеріалів на прикладі Дисперсного темно-синього 3, що науково доводить достовірність висунутої гіпотези про можливість повторного використання таких ресурсів, як барвники та вода із максимальною відповідністю до критерію інтенсивності забарвлення в межах 95%.

Список літератури:

1. Пыркова М.В., Меньшова И.И., Фролова Е.А., Чупартинова Э.М. Сорбенты в очистке сточных вод красильно-отделочного производства. Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 37. № 2. С. 52–56.
2. Нестерова Л.А., Кондратюк Л.Н., Сарибеков Г.С. Разработка технологии очистки сточных вод после процесса крашения текстильных материалов активными красителями. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2010. № 5/6 (47). С. 35–37.
3. Мамитова А.Д., Атаханова Р.А. Разработка и исследования технологии очистки сточных вод красильно-отделочных производств. Геология, география и глобальная энергия. 2010. № 2 (37). С. 144–147.
4. Shoumkova A. Zeolites for water and wastewater treatment: An overview URL: <http://www.ausihem.org> Australian Institute of High Energetic Materials (ABN: 68 126 426 917) (дата звернення 19.11.2022).

5. Karmen Margeta, Nataša Zabukovec Logar, Mario Šiljeg, Anamarija Farkaš Natural Zeolites in Water Treatment– How Effective is Their Use URL: <http://dx.doi.org/10.5772/50738> (дата звернення 19.1.2022).
6. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды от дисперсных примесей Киев, 1981. 208 с.
7. Петрушка І.М., Леськів Г.З., Плахтій Г.І. Очищення стічних вод від барвників природними сорбентами. URL: <http://ena.lp.edu.ua>. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. С. 230–233. (дата звернення 20.11.2022).
8. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. Донецьк. Східний видавничий дім, 2013. Т. 3: С–Я. 644 с.
9. Поліефірні тканини в Україні. URL: <https://stg.ua/cats/poliefirni-tkanini> (дата звернення 26.10.2022).
10. Бородкин В.Ф. Химия красителей. Химия, 1981. 248 с.
11. Спосіб очищення мультикомпонентних стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва. Коваль М.Г., Кузьменко В.Г., Романенко Н.Г. (Україна): пат. 151829 У Україна, МПК C02F 1/28 (2006.01) № u 2021 05931; заявл. 22.10.2021; опубл. 21.09.2022, Бюл. № 38.
12. Технологічна система комплексу очищення стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва природним цеолітом. Коваль М.Г., Кузьменко В.Г.: пат 151832 У Україна, МПК D06P 1/00 D06P 7/00 C02F 1/00 C02F 1/463 (2006.01) C02F 1/52 (2006.01) № u 2021 06700; заявл. 26.11.2021; опубл. 21.09.2022, Бюл. № 38.

Koval M.G. PLANNING AND ORGANIZATION OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE CYCLICAL USE OF RESOURCES IN THE TECHNOLOGY OF DYEING TEXTILE MATERIALS (VIA EXAMPLE OF DYE DISPERSED DARK BLUE Z)

The article gives the hypothesis put forward about the possibility of practical use of wastewater (purified and concentrated) dyeing and finishing production in the process of dyeing textile materials. Since the traditional painting technology has a significant expenditure of resources (dyes, water, electricity), this problem can be eliminated by creating a resource-saving technology for painting textile materials, which will significantly reduce the cost of the painting process. In order to optimally use expensive resources, the article provides a schematic diagram of the fabric dyeing technology, which includes two cycles: a cycle with the reuse of treated wastewater to a technological state (adsorption treatment with affordable natural sorbent zeolite) and a cycle using concentrated wastewater obtained directly after the dyeing process from the dyeing bath (using the example of the textile dye Dispersed dark blue Z). The presented series of experimental studies performed in real production conditions on the basis of the existing coloring and finishing production in Cherkasy (Ukraine) scientifically proves the reliability of the hypothesis put forward about the possibility of reusing resources such as dyes and water, with maximum compliance with the criterion of color intensity within 95%.

The article provides mathematical formalization of certain main and local problems of scientific research, for the implementation of which the following criteria are formulated: the main (final), which consist in achieving the results of dyeing textile materials in certain parameters of color intensity and auxiliary criteria: optical density of dye solutions and their concentrations in dyeing baths.

The entire volume of experimental data contains an array of results of staining indicators of various types of fabrics with Direct and Active dyes carried out within the framework of this study. The amount of work carried out on its results is considered successful.

Key words: dyeing technology, textile materials, dye, wastewater, adsorption, zeolite, wastewater treatment, wastewater reuse, cycle, resource saving.