

Коваль М.Г.

Черкаський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАРБУВАННЯ БАВОВНЯНИХ ТКАНИН ПРЯМИМИ БАРВНИКАМИ ІЗ ПОВТОРНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ОЧИЩЕНИХ СТИЧНИХ ВОД

Текстильна промисловість споживає велику кількість води і виробляє величезну кількість стічних вод, які мають негативний вплив на загальну екосистему. Актуальною є розробка економічно ефективних та екологічних підходів до належного очищення промислових стічних вод фарбувального виробництва з доцільним їх повторним використанням в технологічних процесах текстильного виробництва.

У статті представлені результати експериментальних досліджень можливості повторного використання очищеної адсорбційним методом з подальшою коагуляцією та флокуляцією стічної води фарбувального виробництва (за допомогою природного сорбенту цеоліту) в процесі фарбування бавовняних тканин прямими барвниками трьох основних кольорів: Прямого синього Direct B2RL, Прямого червоного світлостійкого, Прямого жовтого світлостійкого К. Процес фарбування тканини здійснено в умовах реального фарбувально-опоряджувального виробництва ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» (ПрАТ «ЧШК», м. Черкаси, Україна). Досліджено, що повторне використання очищеної стічної води в технології фарбування бавовняної тканини Бязь (артикул 3461) забезпечує інтенсивність забарвлення тканини на рівні 95-98% у порівнянні з еталоном (100%), для бавовняної тканини Віскоза (артикул 3324) інтенсивність забарвлення складає 96-99%. Стійкість одержаних забарвлень до сухого тертя, прання з використанням мила та дії «поту» на рівні 2-4 балів. З метою визначення кількості досліджуваних циклів очищення одного й того ж об'єму води з подальшим фарбуванням, експериментальним шляхом визначено, що двократне очищення однієї і тієї ж стічної води дозволяє використовувати її для фарбування тканини Бязь (артикул 3461) барвниками Прямим синім Direct B2RL і Прямим червоним світлостійким та для фарбування тканини Віскоза (артикул 3324) барвником Прямим жовтим світлостійким К (інтенсивність забарвлення пофарбованої тканини 95-98%, кольорова відмінність досліджених зразків має значення $DE < 2$ між еталонними та пофарбованими зразками, якісні показники досліджених зразків знаходяться в межах еталонних).

Результати експериментальних досліджень слугуватимуть для створення ресурсозберігальної технології фарбування текстильних матеріалів із повторним використанням очищеної стічної води.

При виконанні дослідження та обробці експериментальних даних застосовано методи фізико-хімічного аналізу, спектрофотометричний метод, методи математичного аналізу та сучасну обчислювальну техніку, табличний процесор MS Excel.

Ключові слова: фарбувальне виробництво, стічна вода, очищення стічних вод, адсорбція, цеоліт, прямі барвники, бязь, віскоза.

Постановка проблеми. Текстильна промисловість є однією з найбільш водомістких галузей у світі. Світове щорічне споживання води в текстильній та швейній промисловості оцінюється приблизно в 79 мільярдів кубометрів. У процесі текстильного виробництва близько 80% використаної води скидається у вигляді стічних вод [1], що становить 20% глобального забруднення води, будучи другим за величиною забруднювачем після нафтової промисловості [2]. Процеси фарбування та фінішної обробки текстилю характеризуються високим споживанням води за рахунок кількох циклів прання та полоскання. У процесі фарбування тканини близько 150 м³ води витрачається в середньому на кожну тонну обробленого

полотна, що значно загострює проблему використання та нестачі прісної води [3].

Процес фарбування текстильних матеріалів є важливим етапом текстильного виробництва. На цьому етапі волокнам (тканині) надається колір шляхом використання текстильних барвників і додаткових хімічних речовин, які створюють певне середовище та забезпечують процес адсорбції між барвником і волокном. Після процесу фарбування частина барвників і хімікатів знаходиться в складі утворених стічних вод. Ці барвники та хімічні речовини, крім їх неприйняттого зовнішнього вигляду та токсичного ефекту після їх розпаду, можуть забруднювати прилеглий ґрунт, поверхневі води, стаючи серйозною глобальною

проблемою забруднення навколишнього середовища. Очищення текстильних стоків необхідне для захисту екосистеми та забезпечення подальшої переробки очищених стоків для повторного використання в процесах текстильної фабрики.

Тож, з метою уникнення негативного впливу на навколишнє середовище, здоров'я людей і природних водних ресурсів, а також зменшення значного споживання води в текстильній промисловості, актуальним є розробка економічно ефективних та екологічних підходів до належного очищення промислових стічних вод фарбувального виробництва з доцільним їх повторним використанням в технологічних процесах текстильного виробництва.

Повторне використання води є важливим аспектом сталого управління водними ресурсами, особливо коли це робиться для покращення місцевого водопостачання та зниження виробництва стічних вод [4]. Однак вода, що використовується в текстильній обробці, особливо на етапі фарбування, повинна відповідати більш жорстким вимогам до якості, ніж та, що застосовується для скидання в навколишнє середовище [5]. Отже, щоб повторне використання очищених стічних вод було економічно вигідним, необхідно розробити ефективні процеси очищення, спрямовані не тільки на видалення кольору і органічної речовини, але і на відновлення солей та інших складових [6]; такі процеси, які призводять до очищення стічних вод з максимальною якістю, необхідною для повторного використання [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Повторне використання води, отриманої в результаті обробки текстильних стоків з використанням адсорбентів в нових процесах фарбування, збільшується через високий відсоток води, яка може бути повторно використана для фарбування тканин [8]. У літературі найбільш часто описуються випадки очищення води, спрямовані на кінцеву утилізацію стоків, без перевірки можливості повторного використання їх на одному і тому ж виробничому підприємстві [9].

У роботі [10] показана можливість електроокислення стічних вод фарбувального виробництва з використанням алмазного анода, легованого бором, що забезпечує необхідну для повторного використання якість очищених стічних вод. Результати двох виконаних циклів фарбування вовняної (100%) саржевої тканини кислотними барвниками Nylosan з повторним використанням очищеної стічної води показали, що ефективне послідовне повторне використання може бути

досягнуто з використанням води помірної якості. Електроокислення призвело до зниження екотоксичності стічної води до 18,6 разів, що дозволило повторно використовувати очищені стічні води без значного накопичення екотоксичності.

Пакистанські вчені [11] оцінили ефективність процесу електрокоагуляції для знебарвлення синтетичних стічних вод, утворених після фарбування реактивним барвником Reactive Yellow 145. Очищені стічні води використовували повторно для восьми наступних циклів змивання при фарбуванні текстилю. Оптимізація параметрів процесу (час електролізу, густина струму та pH) дозволила досягти максимальної ефективності видалення забарвлень (98%) при pH 7, тривалості обробки 10 хвилин та щільності струму 90 А/м². Значення різниці кольорів для всіх зразків пофарбованих тканин становили від 0,38 до 0,85, що є промислово прийнятною межею якості ($\Delta E_{cmc} < 1$). Стійкість до прання та міцність забарвлення також були порівняні з властивостями традиційно випраних зразків тканин.

Метою дослідження, описаного в роботі [12], була оцінка кількості циклів повторного використання фарбувальних ванн, оброблених пероксидазою хрону, для процесу фарбування бавовни реактивними барвниками. Ензимна обробка стічної води дозволила видалити колір на 99%, але залишкові домішки у ваннах негативно впливали на результати фарбування бавовни реактивними барвниками, тому необхідним було розбавлення дистильованою водою при коефіцієнтах розбавлення 70, 80 і 90%, досягаючи прийнятних різниць у кольорі (ΔE) 0,94, 0,73 і 0,52 відповідно. На фарбування партії 200 кг бавовняної тканини економія води становила близько 200-600 л.

У рамках дослідження [13], спрямованого на переробку/повторне використання утворених стічних вод, у фарбуванні бавовняної тканини використовувалися реактивні барвники Reactive Yellow 176, Reactive Red 241 та Reactive Blue 221. Стічні води були знебарвлені за допомогою H₂O₂, каталізованого ультрафіолетовим світлом (UV). Ефективність знебарвлення UV/H₂O₂ стічних вод в 91% відбувалася при pH 4. Повторне використання стічних вод було досліджено загалом трьома послідовними циклами очищення стічних вод. Якість бавовняної тканини, пофарбованої повторно використаними стічними водами, оцінювали за допомогою системи колірного простору CIELAB, тестування стійкості до світла та стійкості до прання. Результати показали, що

стічні води після обробки UV/H_2O_2 , можуть використовуватися протягом двох наступних циклів фарбування без зміни якості кольору пофарбованих бавовняних тканин. Запропонована обробка може заощадити воду та кухонну сіль, підвищуючи економічність процесу фарбування.

Огляд та аналіз досліджень багатьох науковців свідчить про необхідність вирішення циклічне використання стічної води, що призведе до зменшення кількості викидів токсичних речовин у навколишнє середовище, поліпшить стан довкілля та водних ресурсів, а також знизить собівартість готової текстильної продукції. Це є підставою для проведення лабораторних та виробничих досліджень.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження експериментальним шляхом можливості повторного використання стічної води фарбувального виробництва, очищеної адсорбційним методом з подальшою коагуляцією та флокуляцією, в технології фарбування бавовняних тканин прямими барвниками.

Виклад основного матеріалу. Очищенню з дослідженням можливого повторного використання підлягали усереднені розбавлені (1:100) стічні води діючого фарбувального виробництва ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» («ЧШК», м. Черкаси, Україна). В якості адсорбента використано природний цеоліт (сокирніт) Сокирницького родовища Закарпатської області (Україна) з розміром фракції 2,5-5,0 мм. Очищення стічних вод здійснено в такій послідовності [14, 15]:

– підготовка цеолітових глин (просіювання через сито, промивання, сушка та термічна активація). Термічна активація здійснювалася в муфельній печі типу СНОЛ – 1,6.2,5.1/9 – І4 шляхом прожарювання при температурі 450°C протягом 4,5 год;

– хімічна модифікація цеоліту, яка здійснювалася шляхом занурення адсорбенту в 10% розчин сульфатної кислоти за нормальних умов на 1 годину (об'ємне співвідношення 1:2 тверда фаза : розчин);

– очищення стічних вод термічно активованим та хімічно модифікованим цеолітом одним з найбільш поширених та ефективних способів адсорбції – тривалий контакт рідкої та твердої фаз у стані спокою: завантаження нерухомого шару цеоліту в об'єм стічної води, що очищується;

– коагуляція та флокуляція стічної води (коагулянт $Al_2(SO_4)_3$ (20 г/л), флокулянт $(C_6H_7O_6Na)_n$ (1%). Дослідження проводили з використанням постійно працюючої електричної мішалки з кількістю обертів 300 об/хв. Утворену суспензію відстоювали протягом 24 годин, фільтрували;

– фізико-хімічний аналіз очищеної стічної води та порівняння її з властивостями технологічної пом'якшеної води ПрАТ «ЧШК» (пом'якшення здійснюється за допомогою Катіоніту КУ-2-8 ГОСТ 20298-74 П.12 т.2) (табл. 1 [14]).

Так як колір барвників є наслідком їх взаємодії зі світлом, то кількісну оцінку кольоровості стічної та очищеної води здійснювали спектрофотометричним методом, використовуючи спектрофотометр UV-5800 PC (КНР). Результат фізико-хімічного аналізу очищеної стічної води

Таблиця 3

Колірні характеристики пофарбованих тканин Бязь (артикул 3461) та Віскоза (артикул 3324) прямими барвниками з використанням води, очищеної адсорбційним методом

Барвник	Тканина	Світлість DL	Відтінок (червоно-зелений) Da	Відтінок (жовто-синій) Db	Кольорова відмінність DE*	Інтенсивність забарвлення, % відповідно до еталону (100%)
Прямий синій Direct B2RL	Бязь (арт. 3461)	+0,13 світліший	-0,17 зеленіший	-0,21 синіший	0,71	98,7
	Віскоза (арт. 3324)	+0,32 світліший	-0,26 зеленіший	-1,20 синіший	1,28	96,8
Прямий червоний світлостійкий	Бязь (арт. 3461)	-0,36 темніший	+0,07 червоніший	+1,89 жовтіший	1,29	96,4
	Віскоза (арт. 3324)	+0,27 світліший	+0,32 червоніший	+0,14 жовтіший	0,58	97,3
Прямий жовтий світлостійкий K	Бязь (арт. 3461)	+0,44 світліший	-0,30 зеленіший	-1,16 синіший	1,64	95,6
	Віскоза (арт. 3324)	+0,02 світліший	+1,01 червоніший	+0,37 жовтіший	1,13	99,8

* 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 [18, с. 29-32].

підтверджує за показниками її відповідність до технологічної пом'якшеної води, а ступінь очищення стічної води становить 91% [14], що свідчить про можливість її використання в технології фарбування текстильних матеріалів та потребує подальших досліджень.

Повторне використання очищеної адсорбційним методом стічної води в технології фарбування тканини досліджувалося експериментально у виробничих умовах фарбувально-опоряджувального виробництва ПрАТ «ЧШК». Фарбування тканини Бязь (артикул 3461) та Віскоза (артикул 3324) барвниками трьох основних кольорів Прямим синім Direct B2RL, Прямим червоним світлостійким, Прямим жовтим світлостійким К здійснювали на лабораторній фарбувальній машині «АНІВА NUANCE CH-6015» (Datacolor, США).

Склад фарбувального розчину та умови фарбування наведені в таблиці 2.

За технологічним режимом підприємства у фарбувальний розчин занурюють 2 г бавовняної тканини. Фарбування здійснюється періодичним способом, при температурі 95°C протягом 40 хв. Після фарбування зразки промивають декілька разів холодною водопровідною водою та гарячою ($t = 80-90^{\circ}\text{C}$) водою, омилюють мийним препаратом PERLAVIN OSGB conc. (1-2 г/дм³) (виробництво Dr. PETRY, Німеччина), стійким в лужному середовищі протягом 10-15 хв, промивають гарячою та холодною водопровідною водою. Промиті зразки сушать у сушильній шафі при температурі 100°C протягом 5-7 хв. Одержані пофарбовані зразки тканин (Рис. 1, 2) досліджують на інтенсивність та стійкість забарвлення.

Таблиця 4

Якісні показники забарвлення пофарбованих тканин Бязь (артикул 3461) та Віскоза (артикул 3324) прямими барвниками

Барвник	Тканина	Стійкість забарвлення, бали					
		сухе тертя		прання з використанням мила		дія «поту»	
		Птв*	Ов*	Птв*	Ов*	Птв*	Ов*
Прямий синій Direct B2RL	Бязь (арт. 3461)	3	3	2	2	2	2
	Віскоза (арт. 3324)	3	2-3	2	3	3	3
Прямий червоний світлостійкий	Бязь (арт. 3461)	4	3-4	3	3	3	3
	Віскоза (арт. 3324)	4	3-4	3	3	3	3
Прямий жовтий світлостійкий К	Бязь (арт. 3461)	4	3-4	3	3	3	3
	Віскоза (арт. 3324)	4	3-4	3	3	3	3

*Птв** – фарбування з використанням пом'якшеної технологічної води

*Ов** – фарбування з використанням очищеної води

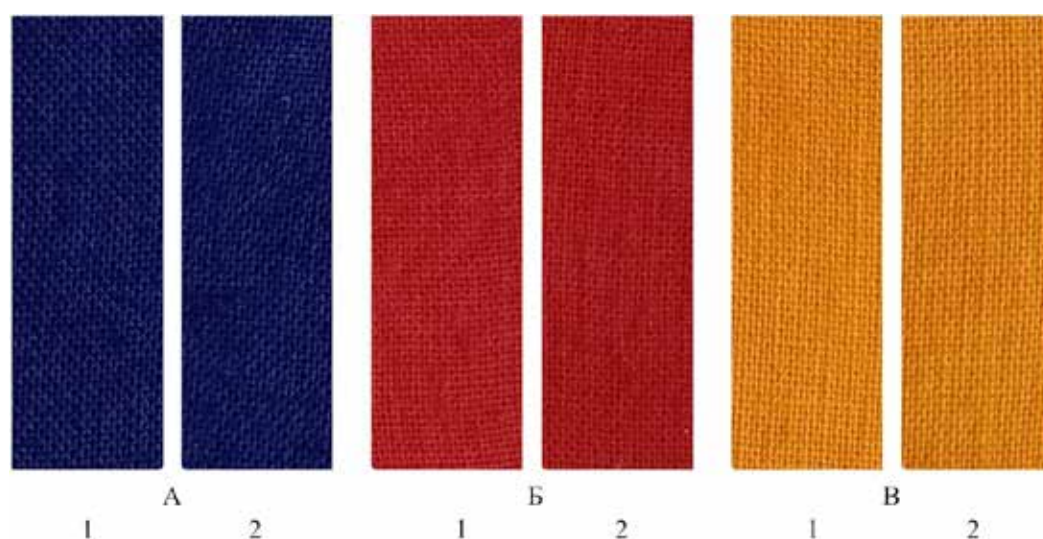


Рис. 1. Зразки пофарбованої тканини Бязь (арт. 3461) прямими барвниками: А – барвником синім Direct B2RL, Б – барвником червоним світлостійким, В – барвником жовтим світлостійким К: 1 – з використанням пом'якшеної технологічної води, 2 – з використанням води, очищеної адсорбційним методом

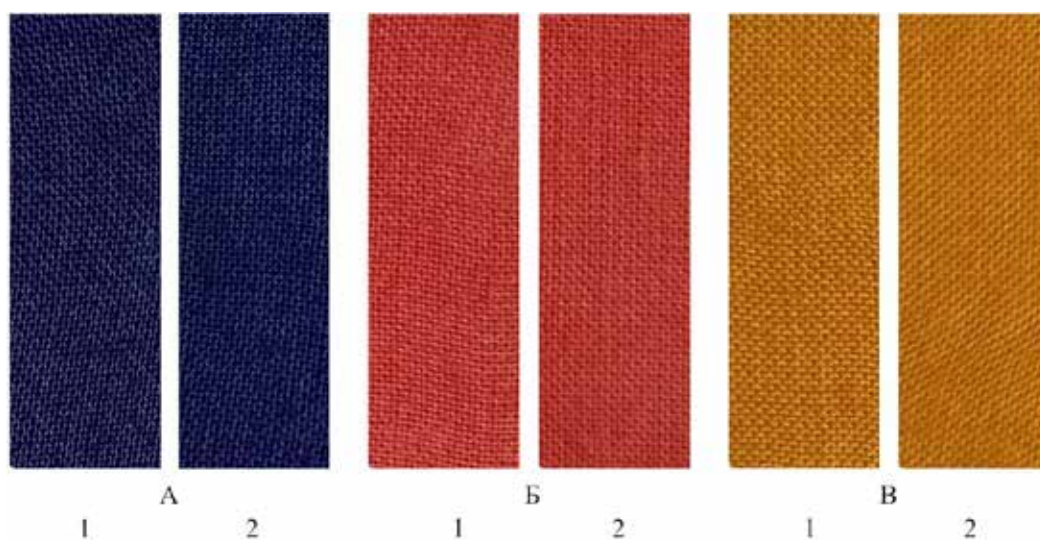


Рис. 2. Зразки пофарбованої тканини Віскоза (арт. 3324) прямими барвниками:
А – барвником синім Direct B2RL, Б – барвником червоним світлостійким, В – барвником жовтим світлостійким К: 1 – з використанням пом'якшеної технологічної води, 2 – з використанням води, очищеної адсорбційним методом

Для дослідження аналізу фарбувальних ванн та утвореної стічної води застосовували спектрофотометричний метод, використовуючи спектрофотометр UV-5800 PC (КНР). Колірні характеристики досліджуваних зразків тканини визначалися за допомогою автоматичної комп'ютерної системи об'єктивного вимірювання кольору «Datacolor Spectrum 400» (Datacolor США) за допомогою системи кольорного простору CIELAB і порівнювалися з кольірним стандартом для виробництва. Обчислювалася різниця в кольорі між досліджуваним зразком і стандартом, а потім порівнювалася з межами (допусками) прийнятності для споживача для кольорового продукту. Допуски прийнятності встановлюються між замовником, який встановлює вимогу до якості кольору і виробництвом, яке виконує це замовлення у вигляді готової продукції [17, с. 2]. Допуски прийнятності ПрАТ «ЧШК» для досліджуваних зразків (у порівнянні з виробничими еталонними): відхилення інтенсивності забарвлення до 5%, світлості (DL), відтінків Da (червоно-зеленого) і Db (жовто-синього) до ± 2 . Результати досліджень представлені в таблиці 3.

Якість та стійкість одержаних забарвлень визначалися шляхом їх порівняння з еталонними, якими слугували зразки ПрАТ «ЧШК» (табл. 4), та визначенням стійкості фарбування згідно з діючими державними стандартами України та міжнародними стандартами ISO (ДСТУ 3998-2000 [19], ДСТУ ISO 105-X12:2016 (до сухого тертя) [20], ДСТУ ISO 105-A02:2005 («Шкала сірих етало-

нів») [21], ДСТУ EN ISO 105-C10:2020 (прання з використанням мила) [22], дія «поту» ДСТУ ISO 11641:2012 «Тести на стійкість кольору. Стійкість кольору до потовиділення». Метод використовує розчин штучного потовиділення для імітації дії потовиділення людини. Оскільки потовиділення сильно варіюється від однієї людини до іншої, неможливо розробити метод з універсальною валідністю, але лужний розчин потовиділення, зазначений в ДСТУ ISO 11641:2012, дає результати, що відповідають результатам з природним потовиділення людей у більшості випадків. Стійкість забарвлення до сухого тертя вимірюють на приладі "Stainingtester" (фірма «Computex», Угорщина) згідно з ДСТУ ISO 105-X12:2016 [20].

Аналізуючи таблиці 3 та 4 можна зробити висновок, що при кольоровій відмінності 0,58-1,64 ($DE < 2$) інтенсивність фарбування бавовняних зразків тканини прямими барвниками із використанням очищеної стічної води знаходиться в межах 96-99% в порівнянні з еталоном (100%), стійкість досліджуваних зразків практично не відрізняється від показників стійкості пофарбованих бавовняних тканин з використанням пом'якшеної технологічної води.

Враховуючи сучасні тенденції рециркуляції води, як основного ресурсу фарбування тканини, під час проведення експерименту виникло завдання щодо додаткового дослідження можливості використання очищеної води в декількох технологічних циклах фарбування тканини. Кількість досліджуваних циклів очищення

Таблиця 5

Колірні характеристики пофарбованих тканин Бязь (артикул 3461) і Віскоза (артикул 3324) прямими барвниками з використанням води, очищеної адсорбційним методом після другого очищення

Барвник	Тканина	Світлість DL	Відтінок (червоно-зелений) Da	Відтінок (жовто-синій) Db	Кольорова відмінність DE*	Інтенсивність забарвлення, % відповідно до еталону (100%)
Прямий Синій Direct B2RL	Бязь (арт. 3461)	+0,36 світліший	-0,27 зеленіший	-0,48 синіший	0,86	96,4
	Віскоза (арт. 3324)	+0,78 світліший	+0,09 червоніший	+0,37 жовтіший	0,95	92,2
Прямий червоний світлостійкий	Бязь (арт. 3461)	+0,48 світліший	+0,36 червоніший	+0,83 жовтіший	1,51	95,2
	Віскоза (арт. 3324)	-1,83 темніший	+0,19 червоніший	+0,53 жовтіший	1,82	81,7
Прямий жовтий світлостійкий К	Бязь (арт. 3461)	-0,84 темніший	-1,01 зеленіший	-2,23 синіший	3,5	91,6
	Віскоза (арт. 3324)	+0,14 світліший	-1,65 зеленіший	+0,81 жовтіший	1,84	98,6

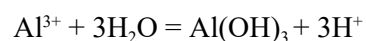
* Кольорова відмінність – математичне уявлення, що дає змогу чисельно виразити відмінність між двома кольорами в колориметрії. DE не має перевищувати 2, що приблизно відповідає мінімально помітній для людського ока відмінності між кольорами [18, с. 29-32].

одного й того ж об'єму води з подальшим фарбуванням запропоновано довести до трьох. Експериментально визначено колірні характеристики досліджених зразків. Результати наведені в таблицях 5 і 6.

Аналізуючи таблиці 5 і 6 спостерігається суттєве погіршення колірних характеристик пофарбованих тканин. Тож, можна зробити висновок, що один об'єм очищеної адсорбційним методом стічної води можна використати двічі лише для фарбування тканини Бязь (артикул 3461) барвниками Прямим синім Direct B2RL і Прямим червоним світлостійким та для фарбування тканини Віскоза (арт. 3324) барвником Прямим жовтим світлостійким К.

Погіршення нафарбовування тканини після двохкратного та крикратного очищення стічної води можна пояснити хімічним складом стічних вод та очищеної води, представленим в таблиці 1. Адсорбційне очищення стічної води, включаючи етапи коагуляції та флокуляції, не є досконалим щодо повного видалення іонів розчинних мінеральних солей. Після повторного очищення тієї самої стічної води відбувається накопичення іонів мінеральних солей (SO_4^{2-} , Cl^-) та солей Феруму, що може погіршувати адсорбційну здатність тканини (волокон) та закріплення барвника волокном. Поряд з цим, за рахунок використання

алюміній сульфату в якості коагулянту під час очищення, не всі іони Al^{3+} можуть бути осаджені, тому у водному розчині їх накопичення може призвести до утворення розбавленого колоїдного розчину з утворенням відповідного важкорозчинного гідроксиду $\text{Al}(\text{OH})_3$ за схемою:



Підвищення температури фарбувальної ванни, при якій відбувається фарбування за технологічним режимом (95°C), може сприяти утворенню розбавленого колоїдного розчину за рахунок утворення міцели складу $\left\{ \left[\text{Al}(\text{OH})_3 \right]_m n\text{AlO}^+ (n-x)\text{Cl}^- \right\} 3x\text{Cl}^-$. Перераховані фактори можуть бути основними причинами погіршення інтенсивності фарбування при кожному повторному процесі, починаючи з першого. Але перший цикл повторного використання (однократне очищення) стічної води дає ефективні результати щодо інтенсивності та стійкості забарвлень.

Висновки. Експериментальним шляхом досліджена можливість повторного використання очищеної адсорбційним методом стічної води фарбувального виробництва в процесі фарбування бавовняних тканин прямими барвниками. Вперше експериментально визначено, що

Колірні характеристики пофарбованих тканин Бязь (артикул 3461) і Віскоза (артикул 3324) прямими барвниками з використанням води, очищеної адсорбційним методом після третього очищення

Барвник	Тканина	Світлість DL	Відтінок (червоно-зелений) Da	Відтінок (жовто-синій) Db	Кольорова відмінність DE*	Інтенсивність забарвлення, % відповідно до еталону (100%)
Прямий Синій Direct B2RL	Бязь (арт. 3461)	+2,36 світліший	-1,27 зеленіший	-2,48 синіший	3,9	76,4
	Віскоза (арт. 3324)	+1,51 світліший	+1,09 черво-ніший	+1,37 жовтіший	4,8	84,9
Прямий червоний світло-стійкий	Бязь (арт. 3461)	+2,94 світліший	+1,47 черво-ніший	+1,85 жовтіший	3,6	70,6
	Віскоза (арт. 3324)	+2,51 світліший	+1,23 черво-ніший	+1,53 жовтіший	2,4	74,9
Прямий жовтий світло-стійкий К	Бязь (арт. 3461)	-3,33 темніший	-6,74 зеленіший	-3,01 зеленіший	5,3	66,7
	Віскоза (арт. 3324)	+0,73 світліший	-2,65 зеленіший	-2,87 зеленіший	3,8	92,7

* 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 [51, с. 29-32].

повторне використання очищеної стічної води в технології фарбування тканини Бязь (артикул 3461) забезпечує інтенсивність забарвлення тканини на рівні 95-98% у порівнянні з еталонном (100%), для тканини Віскоза (артикул 3324) інтенсивність забарвлення складає 96-99%. Стійкість одержаних забарвлень до сухого тертя, прання з використанням мила та дії «поту» на рівні 2-4 балів. Серією експериментів досліджено, що двократне очищення однієї і тієї ж стічної води дозволяє використовувати її для фарбування тканини Бязь (артикул 3461) барвниками Прямим синім Direct B2RL і Прямим червоним світлостійким та для фарбування тканини Віскоза (артикул 3324) барвником Прямим жовтим світлостій-

ким К (інтенсивність забарвлення пофарбованої тканини 95-98%, кольорова відмінність досліджених зразків має значення DE<2 між еталонними та пофарбованими зразками, якісні показники досліджених зразків знаходяться в межах еталонних). Визначено, що стічна вода фарбувального виробництва, яка має негативний вплив на навколишнє середовище і забруднює його, може бути якісною вторинною сировиною для текстильної промисловості. Результати експериментальних досліджень, висвітлені в цій статті, будуть використані для створення ресурсозберігальної технології фарбування текстильних матеріалів із повторним використанням очищеної стічної води.

Список літератури:

1. Yaseen D.A., Scholz M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: A critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019. 16. Pp. 1193-1226.
2. Mohamed A. H., Ahmed E. Health and environmental impacts of dyes: Mini Review. *American Journal of Environmental Science and Engineering*. 2017. 1(3). Pp. 64-67. <https://doi.org/10.11648/j.ajese.20170103.11>
3. Lu X., Liu L., Liu R., Chen J. Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. *Desalination*. 2010. 258 (1-3). Pp. 229-232. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.002>.
4. Jimenez B., Asano T. Water Reuse: An International Survey of Current Practice. *Water Intell.* 2015.10 <https://www.semanticscholar.org/paper/Water-Reuse%3A-An-International-Survey-of-current-and-Jimenez-Asano/d979a6e91c613533528838c6960aec2755b68616>(дата звернення 10.01.2025)
5. Silva L.M., Moreira F.C., Souza A.U., Souza S., Boaventura R., Vilar V. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 198. Pp. 430-442. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.001>

6. Holkar C.R., Jadhav A.J., Pinjari D.V., Mahamuni N.M., Pandit A.B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*. 2016. 182(1). Pp. 351-366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
7. Reddy K.R., Kandou V., Havrelock R., El-Khattabi A.R., Cordova T., Wilson M.D., et al, editors. Reuse of Treated Wastewater: Drivers, Regulations, Technologies, Case Studies, and Greater Chicago Area Experiences. *Sustainability*. 2023. 15(9). Pp. 74-95. <https://doi.org/10.3390/su15097495>.
- 8 Chiong T., Lau S.Y., Lek Z.H., Koh B.Y., Danquah M.K. Enzymatic treatment of methyl orange dye in synthetic wastewater by plant-based peroxidase enzymes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016. 4 (2). Pp. 2500-2509. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.04.030>.
9. Mittersteiner M., Schmitz F., Barcellos I.O. Reuse of dye-colored water post-treated with industrial waste: Its adsorption kinetics and evaluation of method efficiency in cotton fabric dyeing. *Journal of Water Process Engineering*. 2017. 17. Pp. 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.04.004>.
10. Pinto C., Fernandes A., Nunes M. J., Baía A., Ciriaco L., Pacheco M.J. Reuse of Textile Dyeing Wastewater Treated by Electrooxidation. *Water*. 2022. 14 (7). Pp. 33-54. <https://doi.org/10.3390/w14071084>.
11. Firdous N. Shaikh I.A., Islam S., Arooj F. Multiple Reuse of Electrocoagulation Treated Reactive Dyeing Wash-Off: Colorimetric Properties and Water Saving. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021. 8:9. Pp. 23-29. <https://doi.org/10.37421/2380-2391.2021.8.330>.
12. Chiarello L.M., Mittersteiner M., de Jesus P.C., Andreus J., Barcellos I.O. Reuse of enzymatically treated reactive dyeing baths: Evaluation of the number of reuse cycles. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 267. 122033. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122033>.
13. Hipólito Bezerra K.C., Fiaschitello T.R., Freeman H. S., Fragoso W.D., da Costa S.M., da Costa S.A. Reuse of water from real reactive monochromic and trichromic wastewater for new cotton dyes after efficient treatment using H₂O₂ catalyzed by UV light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. 9 (4). 105731. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105731>.
14. Коваль М.Г. Дослідження очищення стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва адсорбційним методом з використанням природного цеоліту. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. 35 (74). 96-105. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/17>
15. Спосіб очищення мультикомпонентних стічних вод фарбувально-оздоблювального виробництва: пат. 151829 У Україна: C02F 1/28 (2006.01) № у 2021 05931; заявл. 22.10.2021; опубл. 21.09.2022, Бюл. № 38. 4с.
16. Olson ES. Textile Wet Processes. USA: Noyes Publications, Park Ridge. 1983.
17. Colorimetric Fundamentals CIELAB <https://surl.li/vdfxoc> (дата звернення 10.01.2025).
18. Gaurav S., Raja B. Digital Color Imaging Handbook. 2003.<https://surl.li/wqqfoj> (дата звернення 17.01.2025).
19. Державний стандарт України. Державний стандарт України. Матеріали та вироби текстильні, трикотажні, швейні та шкіряні. Терміни та визначення. 2001. (ДСТУ 3998-2000). Київ, Україна 2001. (<https://surl.li/zpmbvu> (дата звернення 12 січня 2025)).
20. International Standard. Textile materials. Determination of colour fastness. Part X12. Method for determining the friction resistance of colouring. (DSTU ISO 105-X12:2016) International Organization for Standardization. Technical Committee ISO/TC 38, Textiles. Geneva, Switzerland, 2016. <https://surl.li/hvtnor> (дата звернення 12 січня 2025).
21. International Standard. Textile materials. Determination of colour fastness. Part A02. Grey scale for assessing colour change. [homepage on the Internet]. (DSTU ISO 105 A02:2005) International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2005. <https://surl.li/pbxhhv> (дата звернення 12 січня 2025).
22. International Standard. Materials are textile. Test method for colour fastness. Part C10. Colour fastness to washing with soap or soap and soda [homepage on the Internet]. ((DSTU EN ISO 105-C10:2020 (EN ISO 105-C10:2007, IDT; ISO 105-C10:2006, IDT)) Geneva, Switzerland, 2007. <https://surl.li/vlurzo> (дата звернення 12 січня 2025)).

Koval M.G. STUDY OF COTTON FABRICS DYEING WITH DIRECT DYES WITH REUSE OF TREATED WASTEWATER

The textile industry consumes a large amount of water and produces a huge amount of wastewater, which has a negative impact on the overall ecosystem. It is important to develop cost-effective and environmentally friendly approaches to the proper treatment of industrial wastewater from dyeing production with their expedient reuse in textile production processes.

The article presents the results of experimental studies on the possibility of reusing wastewater from the dyeing industry (using a natural zeolite sorbent) treated by adsorption followed by coagulation and flocculation in the process of dyeing cotton fabrics with direct dyes of three primary colours: Direct blue Direct B2RL, Direct red lightfast, Direct yellow lightfast K. The process of fabric dyeing was carried out in the conditions of real dyeing and finishing production of Private Joint Stock Company Cherkasy Silk Plant (PJSC CSP) (Cherkasy, Ukraine). It was found that the reuse of treated wastewater in the technology of dyeing cotton fabric Calico (article 3461) provides a dye intensity of 95-98% compared to the standard (100%), for cotton fabric Viscose (article 3324) the dye intensity is 96-99%. The resistance of the obtained colours to dry friction, washing with soap and 'sweat' is 2-4 points. In order to determine the number of investigated cycles of purification of the same volume of water with subsequent dyeing, it was experimentally determined that double purification of the same wastewater allows its use for dyeing of calico fabric (article 3461) with Direct Blue Direct B2RL and Direct Red Lightfast dyes and for dyeing of viscose fabric (article 3324) with Direct Yellow Lightfast K dye (colour intensity of the dyed fabric is 95-98%, colour difference of the tested samples is $DE < 2$ between the reference and dyed samples, the quality indicators of the tested samples are within the reference ones).

The results of the experimental studies will serve to create a resource-saving technology for dyeing textile materials with the reuse of treated wastewater.

The methods of physical and chemical analysis, spectrophotometric method, methods of mathematical analysis and modern computing technology, MS Excel spreadsheet processor were used in the study and processing of experimental data.

Key words: *dyeing production, wastewater, wastewater treatment, adsorption, zeolite, direct dyes, calico, viscose.*