

**Коваль М.Г.**

Черкаський державний технологічний університет

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ФАРБУВАЛЬНО-ОПОРЯДЖУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Захист води від забруднення – одне з найважливіших світових завдань, а ефективне і економічне використання води в промисловості має бути одним із пріоритетів нашої держави. Вода потрібна для роботи різних галузей промисловості. Текстильна промисловість споживає велику кількість води і виробляє величезну кількість стічних вод, які у своєму складі містять велику кількість текстильних барвників, мийних засобів та інших хімічних речовин, і мають негативний вплив на загальну екосистему. Злив неочищених промислових стічних вод у водойми призводить до забруднення водойм та ґрунту, загрожує біорізноманіттю та здоров'ю людини. Актуальною є проблема очищення промислових стічних вод, що є не тільки турботою про навколишнє середовище, а й важливим фактором для сталого розвитку та економіки країни.*

*Стаття присвячена основним проблемам, які є в секторі стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва текстильної промисловості, розглянуто сучасні шляхи вирішення цих проблем. Використовуючи методи аналізу й узагальнення даних наукової вітчизняної та зарубіжної літератури вивчено існуючі сучасні методи очищення промислових стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва, що набули б широкого застосування у водопідготовці.*

*Існуючі традиційні методи очищення стічних вод (механічні, біологічні та хімічні), які не можуть бути визнаними найкращими, оскільки кожен з них має свої переваги та обмеження щодо вартості, ефективності, технологічного виконання, впливу на навколишнє середовище. У статті розглянуто сучасні новітні технології та інноваційні підходи, які дозволяють ефективніше видаляти хімічні забруднення стічних вод текстильної галузі і забезпечувати повторне використання водних ресурсів, що забезпечує й економічну ефективність процесу очищення. До таких методів належать: біоремедіація; використання біореакторів, мікробних паливних елементів; генна інженерія; використання бактерій, грибів, дріжджів, водоростей та актиноміцетів; використання наноматеріалів; застосування методів ультрафільтрації й нанофільтрації; адсорбційне очищення.*

*З'ясовано можливість та доцільність застосування сучасних методів рішення проблем в області стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва та поводження з ними в текстильній галузі.*

**Ключові слова:** текстильна промисловість, фарбувально-опоряджувальне виробництво, барвники, стічна вода, очищення.

**Постановка проблеми.** Проблематика раціонального використання природних ресурсів, екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища є надзвичайно актуальною і потребує негайного впливу людини на оптимізацію технологічних процесів, зниження впливу на екосистему.

Незважаючи на зусилля, які уже зараз прикладає людство для покращення стану екосистем, проблема гідросфери з кожним роком загострюється і вже сьогодні ми маємо обмежені запаси прісної води. До 2030 року приблизно 47% населення світу зіткнеться з проблемою дефіциту чистої води [1]. Основною причиною цієї ситуа-

ції є стрімка індустріалізація, що призводить до стрімкого зростання кількості підприємств та нераціонального використання природних ресурсів. Відповідно до Стратегії розвитку водної політики України на 2020–2050 рр [2], частка забруднених та недостатньо очищених стічних вод (СВ) відносно загального обсягу водовідведення зворотних вод у 2020 році склала 10%. Щороку зі СВ до водних об'єктів скидається біля 2 млн. тонн забруднюючих речовин, що призводить до інтенсивної евтрофікації водойм.

У текстильній та паперовій промисловості масово використовуються барвники, зокрема у текстильній промисловості використовується

понад 10000 різних барвників і пігментів [1], наявність у структурі молекул яких хромофорних груп  $-N=N-$ ,  $O=C-NH-$ ,  $-CH=N-$  надає цим молекулам токсичності та канцерогенності [3].

Фарбувально-опоряджувальне виробництво текстильної промисловості – це джерело величезної кількості стічних вод, забруднених текстильними барвниками, синтетичними мийними засобами та іншими забруднюючими хімічними речовинами. Одним з останніх етапів процесу фарбування текстилю є цикл прання, який служить як для закріплення кольору в тканині, так і для усунення будь-яких надлишків кольору. Після завершення циклу фарбування тканин забруднена вода та пігменти разом із мийними засобами скидаються у джерела поверхневих вод [3]. Злив неочищених промислових стічних вод у водойми призводить до забруднення водойм та ґрунту, загрожує біорізноманіттю та здоров'ю людини.

Тож, очищення промислових стічних вод – це не тільки турбота про навколишнє середовище, а й важливий фактор для сталого розвитку та економіки країни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючі методи очищення промислових стічних вод текстильної галузі можна розділити на три основні категорії: біологічні, хімічні та фізичні. Маючи складну хімічну структуру, барвники мають високу стійкість до розкладання, тому за нормальних умов вони стійкі до світла, тепла і дії окисників [4].

Через низьку здатність барвників до біологічного розкладання традиційний процес біологічного очищення стічних вод не дуже ефективний при очищенні стічних вод, що містять барвник. У цій ситуації, як правило, використовуються фізичні та хімічні процеси очищення [5].

Біологічні методи включають аеробну, анаеробну деградацію, тоді як хімічні методи включають коагуляцію, електрокоагуляцію та звичайні методи окислення за допомогою окислювачів, таких як озон, опромінення або електрохімічні процеси [6]. Адсорбція, окислення, біологічне очищення, електрохімічна обробка та мембранна фільтрація є одними з важливих методів, які використовуються для видалення барвника. Жоден метод не може бути визнаний найкращою доступною технологією, оскільки кожен з них має свої переваги та обмеження щодо вартості, ефективності, технологічного виконання, впливу на навколишнє середовище. У зв'язку зі складним характером отриманих стоків з різних тех-

нологічних процесів жодна автономна техніка не змогла продемонструвати задовільне очищення стічних вод [7].

**Постановка завдання.** Метою статті є вивчення існуючих сучасних методів очищення промислових стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва, що набули б широкого застосування у водопідготовці.

Дослідження проводили з використанням методів аналізу й узагальнення даних наукової літератури.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні виклики, пов'язані з якістю води та її ресурсами, вимагають від суспільства впровадження новаторських підходів до очищення стічних вод. Традиційні методи очищення води: механічна, біологічна та хімічна обробка, можуть не забезпечувати достатнього рівня очищення, особливо при наявності складних забруднювачів (барвників, пігментів). Сучасні технології пропонують інноваційні підходи, які дозволяють ефективніше видаляти хімічні забруднення і забезпечувати повторне використання водних ресурсів, що забезпечує й економічну ефективність процесу очищення.

Тому науковці активно працюють над розробкою та впровадженням нових технологій, які дозволили б досягати високих результатів у цій сфері. Серед основних успіхів останніх років можна виділити не лише вдосконалення традиційних методів, але й появу інноваційних рішень, які базуються на використанні біоінженерії, нанотехнологій та електрохімічних процесів [8].

Серед основних тенденцій в цій галузі можна виділити впровадження розумних систем моніторингу, які дозволяють в реальному часі оцінювати ефективність очищення. Інноваційні рішення, такі як використання наноматеріалів та біосенсорів, відкривають нові горизонти для покращення якості очищення стічних вод, що дозволяє не лише підвищувати ефективність цих процесів, а й дозволяє повторно використовувати очищену воду. Автоматизація процесів щодо використання сучасних ІТ-рішень для моніторингу та управління системами очищення підвищує екологічність та мінімізує вплив на навколишнє середовище [8].

У даний час при очищенні стічної води від барвників застосовуються передові технології, такі як біоре mediaція, біореактори, мікробні паливні елементи, генна інженерія та інші.

Безпечним методом детоксикації барвників зі стічних вод є технологія біоре mediaції (ферментативний метод) з використанням мікроорга-

нізмів або рослин. Для знебарвлення барвників у стічних водах ефективною стратегією служить бактеріальна обробка [9]. Біоремедіація за допомогою ензимів є сприятливою, екологічно чистою методикою [10]. Метод ферментативної деградації полягає у знаходженні властивостей мікробів та розробці ферментів для метаболізму барвників і перетворенні шкідливої форми барвників у нешкідливі або нетоксичні форми [10]. Клас ферментів, азоредуктаза, був описаний у роботі [11] як такий, що проводить реакцію відновлення і викликає розпад азозв'язків ( $-N=N-$ ), присутніх у барвниках, перетворюючи ароматичний амін у безбарвну воду. У біодеградації текстильних барвників можуть брати участь і ферменти, що продукуються різними типами грибів, такими як лігнінпероксидази, азоредуктази, лаккази з грибів білої гнилі [12].

До сучасних методів знебарвлення стічних вод, що містять барвники, належать використання бактерій, грибів, дріжджів, водоростей та актиноміцетів. З біотехнологічної точки зору, бактерії мають багато переваг, оскільки вони містять велику кількість деградуючих ферментів, отже, мають здатність розкласти барвники широкого спектру [13, 14]. Основною перевагою роботи з бактеріями є їх ефективність у швидкому зростанні та здатність легко культивуватися. Органічні забруднювачі на основі вуглеводнів, можуть катаболізуватися бактеріями як джерело енергії [15]. Бактерії також мають здатність окислювати текстильні барвники із вмістом Сульфуру до  $H_2SO_4$  [16].

Мікроорганізми, зокрема актиноміцети, відіграють значну роль у знебарвленні барвників. Кілька дослідників повідомляли про знебарвлення барвників за допомогою актиноміцетів. Дослідники Zhou і Zimmermann [17] спостерігали знебарвлення барвників видами *Streptomyces* на 3–10%, а вчені Dong et al. [18] спостерігали 99% знебарвлення барвників за допомогою *Streptomyces* sp. S27.

Дослідження показують, що азобарвники використовуються як джерело вуглецю та енергії для водоростей, які потім розпадаються на ароматичні аміни, згодом перетворюючись на прості неорганічні та органічні сполуки [19]. Для дослідження знебарвлення барвників із зразків текстильних стічних вод широко використовуються види *Chlorella*, виду *Oscillatoria*, *Phormidium* та *Synechocystis* [20].

Використання нанотехнологій для обробки барвників є найновішим перспективним підходом. В останні роки нанобіоремедіація з'явилася

як життєздатна альтернатива для ефективного та екологічно чистого видалення барвників з навколишнього середовища [21]. Численні галузі, включаючи сільське господарство, енергетику, медицину та навколишнє середовище, використовують нанотехнології [22, 23]. Розробка наночастинок екологічно чистими мікробами корисна для нано-біоремедіації забруднювачів. Наночастинки (НЧ) мають відмінні структурні властивості, які роблять їх привабливими для очищення текстильних стічних вод. Ці НЧ діють як адсорбенти для успішного видалення барвників. У своєму дослідженні Balrabe et al. [21] повідомили, що еозин жовтуватий продемонстрував ефективне видалення (95%) при 75 ppm з використанням наночастинок  $Fe_2O_3$ , рН 6, з часом експозиції 15 хв. Рані і Шанкер [24] повідомили про використання функціоналізованих наноматеріалів для відновлення органічних барвників. Наноматеріали та наночастинки використовуються для адсорбції та видалення кольорів зі стічних вод. Наночастинки мають розмір від 1 до 100 нм [25]. Дендримери, металовмісні наночастинки, цеоліти та вуглецеві наноматеріали – це чотири типи функціональних наночастинок, які використовуються для очищення стічних вод. Наноматеріали мають величезний потенціал для очищення води та повного видалення існуючих та нових органічних забруднювачів з води та стічних вод. Згідно з дослідженням, найбільш ефективним способом зменшення забруднення барвником з водного середовища є адсорбція наноматеріалами [26]. Адсорбція барвника метиленового синього була максимізована за рахунок використання наночастинок срібла, навантажених на активоване вугілля. Поглинання барвників можливе наночастинками аргентум магнетиту та хітозану [27]. Порошок нанокремнезему Аргентуму показав адсорбцію барвників Congo red, Eosin Yellow, Bromophenol Blue 2 та Brilliant Blue [28].

Більшість класів барвників можуть бути повністю видалені за допомогою передових методів: ультрафільтрації (UF) та нанофільтрації (NF), хоча необхідно дотримуватися обережності, щоб запобігти забрудненню мембрани, для цього потрібна особлива попередня обробка мембранного процесу [29].

Одним із сучасних методів очищення стічних вод текстильної промисловості є практичне використання електрохімічних методів очищення. Науковці із КНУТД (м. Київ, Україна) за допомогою електролізної установки встановили, що ступень видалення з стічних вод текстильної про-

мисловості певних органічних з'єднань і важких металів на одиницю витраченої на це електричної енергії може залежати як від температури цих стічних вод, так і від питомого струму, який через ці стічні води протікає, що дозволяє збільшити ступень видалення з стічних вод певних органічних з'єднань і важких металів (на одиницю витраченої на це електричної енергії) приблизно на (5–10%) [30].

Практично, комбінація кількох обробок, відома як «гібридний процес», частіше використовується для отримання найефективнішої якості очищеної води та є більш економічним способом [31].

В основі економічно вигідної та високоефективної технології, яка широко використовується для очищення стічних вод, утворених після процесу фарбування текстильних матеріалів, лежить метод адсорбційного очищення.

Активоване вугілля є одним з найбільш широко застосовуваних звичайних адсорбентів завдяки своїм відмінним адсорбційним характеристикам. Однак, його застосування було обмежене високою ціною та складними процесами регенерації. Крім того, звичайне активоване вугілля мало-ефективне і має низьку селективність по відношенню до текстильних дисперсних барвників [32]. Щоб знизити вартість і підвищити ефективність адсорбції, було розроблено багато нових альтернатив для заміни звичайного активованого вугілля. Зокрема, використання цеолітових та бентонітових глин, як природних адсорбентів, набуває широкого використання. Україна багата на поклади цих мінеральних адсорбуючих мате-

ріалів. Адсорбція стічних вод природним цеолітом Закарпатського родовища (з подальшою коагуляцією та флокуляцією) набула практичного використання під час очищення стічних вод фарбувально-опоряджувального виробництва реального підприємства ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат» (м. Черкаси, Україна). У роботах автори очищують стічну воду до того ступеня очищення, щоб в подальшому використовувати її повторно, як технологічну, в процесі фарбування тканини прямими [33], активними [34] і дисперсними [35] барвниками.

**Висновки.** Сучасні технології очищення промислових стічних вод відрізняються високою ефективністю, енергоефективністю та екологічністю. Вони мають дозволяти очищати стічні води до високих стандартів з можливістю скидати їх у водойми без загрози забруднення; відрізнятися низьким споживанням енергії та зниженням експлуатаційних витрат; скорочувати викиди забруднюючих речовин в атмосферу та мінімізують вплив на навколишнє середовище. Майбутні дослідження повинні вивчати процеси знебарвлення чистих культур, а також змішаних культур, опосередкованих культурою, в яких мікробні штами повинні бути вдосконалені за допомогою генної інженерії. Необхідні подальші передові дослідження для вивчення шляхів деградації барвника, генетики мікроорганізмів, що знебарвлюють барвник, і застосування останніх стратегій обробки барвників. Також існує потреба у вивченні недорогих стратегій екологічно чистого очищення для сталого довкілля.

#### Список літератури:

1. Aminul I., Siow H.T., Yun H.T., Chi H.N., Dai-Viet N.V., Mohd L.I., Munjur H., Azizur R K., Alam S.M., Rabiul A. Step towards the sustainable toxic dyes removal and recycling from aqueous solution – A comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 175. P. 105–129. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105849.
2. Водна стратегія України на період до 2050 року. Київ, 2022. Р. 1–26. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 16.06.2025).
3. Berradi M., Hsissou R., Khudhair M., Assouag M., Cherkaoui O., El Bachiri A., El Harfi A. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon*. 2019. Vol. 5, № 11. P. 123–158. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02711.
4. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technology*. 2006. Vol. 97, № 9. P. 1061–1085. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.05.001.
5. Nachiyar C.V., Rakshi A.D., Sandhya S.N., Jebasta B.D., Nellore J. Developments in treatment technologies of dye-containing effluent: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. Vol. 7. P. 100–139. DOI: 10.1016/j.csee.2023.100339.
6. Іванько О.М. Сучасні підходи до очищення стічних вод. *Лікарська справа*. 2013. № 3. С. 102–105. DOI: 10.31640/LS-2013-3-19.
7. Samsami S., Mohamadizani M., Sarrafzadeh M.H., Rene E.R., Firoozbahr M. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. Vol. 143. P. 138–163. DOI: 10.1016/j.psep.2020.05.034.

8. Інновації в очищенні стічних вод – досягнення і перспективи. *Ваш майстер: будівництво та ремонт*, 2024. <https://vash-master.com.ua/innovatsijni-texnologii-ochishnennya-stichnix-vod-dosyagnennya-perspektivi-ta-novitni-rishennya> (дата звернення: 20.07.2025).
9. Pourbabae A.A., Malakzadeh F., Sarbolouki M.N., Najafi F. Aerobic decolorization and detoxification of disperse dye in textile effluent by a new isolate of *Bacillus* spp. *Biotechnol. Bioeng.* 2006. Vol. 93. P. 631–635. DOI: 10.1002/bit.20732.
10. Bhandari S., Poudel D.K., Marahatha R., Dawadi S., Khadaya K., Phuyal S. Microbial enzymes used in bioremediation. *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 20. P. 884–921. DOI: 10.1155/2021/8849512.
11. Mendes S., Robalo M.P., Martins L.O. Bacterial Enzymes and Multi-enzymatic Systems for Cleaning-up Dyes from the Environment. In: Singh, S. (eds) *Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters*. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2015. P. 27–55. DOI: 10.1007/978-3-319-10942-8.
12. Lellis B., Polonio C.Z.F., Pamphile J. A., Polonio J. C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*. 2019. Vol. 3. P. 275–290. DOI: 10.1016/j.biori.2019.09.001.
13. Singh P. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013. P. 138–157. URL: <https://surl.li/czspoc> (дата звернення: 20.07.2025).
14. Khan R., Bhawana P. & Fulekar M.H. Microbial decolorization and degradation of synthetic dyes: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2013. Vol. 12. P. 75–97. DOI: 10.1007/s11157-012-9287-6.
15. Yang H.Y., Jia R.B., Chen B., Li L. Degradation of recalcitrant aliphatic and aromatic hydrocarbons by a dioxin- degrader *Rhodococcus* sp. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2014. Vol. 21, № 18. P. 11086–11093. DOI: 10.1007/s11356-014-3027-0.
16. Nguyen T.A., Fu C.C., Juang R.S. Biosorption and biodegradation of a sulphur dye in high-strength dyeing wastewater by *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 182. P. 182:265–271. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.083.
17. Zhou W., Zimmermann W. Decolorization of industrial effluents containing reactive dyes by actinomycetes. *FEMS Microbiology Letters*. 1993. Vol. 107. P. 157–161. DOI: 10.1111/j.1574-6968.1993.tb06023.x.
18. Dong H., Guo T., Zhang W., Ying H., Wang P., Wang Y., Chen Y. Biochemical characterization of a novel azo-reductase from *Streptomyces* sp. application in eco-friendly decolorization of azo-dyes wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 140. P. 1037–1046. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.08.196.
19. Jamee R., Siddique R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by micro-organisms: An environmentally and economically sustainable approach. *European journal of microbiology & immunology*. 2019. Vol. 9. P. 114–118. DOI: 10.1556/1886.2019.00018.
20. Gangola S., Bhatt P., Chaudhary P., Khatri P., Kumar N., Sharma A. Microbial Biotechnology in Environmental Monitoring and Cleanup. IGI Global; Hershey, PA, USA: 2018. P. 1–27.
21. Balrabe Y.B., Oumarou I.N.M., Korony S.A., Adjama I., Baraze I.R.A. Photooxidation of organic dye by  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles; catalyst, electron acceptor and polyurethane membrane effects. *Journal of Nanotechnology*. 2023. P. 129–176. DOI: 10.1155/2023/1292762.
22. Garg D., Sridhar K., Stephen Inbaraj B., Chawla P., Tripathi M., Sharma M. Nano-biofertilizer formulations for agriculture: A systematic review on recent advances and prospective applications. *Bioengineering*. 2023. Vol. 10, № 9. P. 1010–1034. DOI: 10.3390/bioengineering10091010.
23. Bala S., Sharma M., Dashora K., Siddiqui S., Diwan D., Tripathi M. Nanomaterials based sustainable bioenergy production systems: Current trends and future prospects. *Nanofabrication*. 2022. Vol. 7. P. 314–324. DOI: 10.37819/nanofab.007.253.
24. Rani M., Shanker U. Removal of organic dyes by functionalized nanomaterials. In: Shanker U., Hussain C.M., Rani M., editors. *Handbook of Green and Sustainable Nanotechnology*. Springer; Cham, Switzerland: 2023. P. 1267–1298.
25. Shih Y.H., Tso C.P., Tung L.Y. Rapid degradation of methyl orange with nanoscale zerovalent iron particles. *Sustainable Environment Research*. 2010. Vol. 20, № 3. P. 137–143.
26. Osagie C., Othmani A., Ghosh S., Malloum A., Kashitarash E. Z., Ahmadi S. Dyes adsorption from aqueous media through the nanotechnology: a review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Vol. 14. P. 2195–2218. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.07.085.
27. Marimuthu S., et al. Silver nanoparticles in dye effluent treatment: a review on synthesis, treatment methods, mechanisms, photocatalytic degradation, toxic effects and mitigation of toxicity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2020. Vol. 205. P. 111–123. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2020.111823.
28. Roy M., Saha R. Dyes and their removal technologies from wastewater: A critical review. *Intelligent Environmental Data Monitoring for Pollution Management*. 2021. P. 127–160. DOI: 10.1016/B978-0-12-819671-7.00006-3.

29. Samhaber W.M., Nguyen M.T. Applicability and costs of nanofiltration in combination with photocatalysis for the treatment of dye house effluents. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. 2014. Vol. 5, № 1. P. 476–484. DOI: 10.3762/bjnano.5.55
30. Лісовець С. М., Томашевський Д. І. Підвищення ефективності очищення стічних вод за допомогою електролізної установки. *Технології та дизайн*. 2018. Вип. 4, № 29. С. 1–7. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10880> (дата звернення: 21.07.2025).
31. Al-Tohamy R, Ali S.S., Li F., Okasha K.M., Yehia A.-G. M., Elsamahy T., Jiao H., Fu Y., Sun J. A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 231. P. 113–160. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113160.
32. Zhou Y., Lu J., Zhou Y., Liu Y. Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review. *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 252, Part A. P. 352–365. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.072.
33. Коваль М.Г. Дослідження фарбування бавовняних тканин прямими барвниками із повторним використанням очищених стічних вод. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 1, том 36 (75). С. 180–188. DOI: 10.32782/2663-5941/2025.1.1/26.
34. Koval M.G. Development of resource-saving technology of dyeing cotton fabrics by reactive dyes with reuse of treated wastewater from dyeing and finishing production and creation of a basic technological scheme. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024. Vol. 32, № 3. P. 669–680. DOI: 10.15421/jchemtech.v32i3.299509.
35. Koval M. Repeated Use of Purified Wastewater in the Dyeing of Polyether Fabrics with Dispersed Dyes. *French-Ukrainian journal of chemistry*. 2024. Vol. 12, № 01. P. 118–138. DOI: 10.17721/fujcV12I1P118-138.

#### Koval M.G. MODERN APPROACHES TO WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY DYEING AND FINISHING PRODUCTION

*Protecting water from pollution is one of the most important global challenges, and the efficient and economical use of water in industry should be one of our country's priorities. Water is needed for various industries to operate. The textile industry consumes large amounts of water and produces huge amounts of wastewater, which contains large amounts of textile dyes, detergents and other chemicals and has a negative impact on the overall ecosystem. The discharge of untreated industrial wastewater into water bodies leads to the pollution of water bodies and soil, threatening biodiversity and human health. The problem of industrial wastewater treatment is relevant, which is not only a concern for the environment, but also an important factor for the sustainable development and economy of the country.*

*The article is devoted to the main problems in the wastewater sector of the dyeing and finishing production of the textile industry, and modern ways of solving these problems are considered. Methods of analysis and generalisation of data from domestic and foreign scientific literature were used. We looked into the current ways to clean industrial wastewater from dyeing and finishing production that could be widely used in water treatment.*

*Existing traditional methods of wastewater treatment (mechanical, biological and chemical) cannot be considered the best, since each of them has its own advantages and limitations in terms of cost, efficiency, technological implementation and environmental impact. This article and paper looks at the latest tech and innovative ways to get rid of chemical pollution in wastewater from the textile industry more efficiently and make sure water resources can be reused, which also makes the cleaning process more cost-effective. These methods include: bioremediation; the use of bioreactors, microbial fuel cells; genetic engineering; the use of bacteria, fungi, yeast, algae and actinomycetes; the use of nanomaterials; the application of ultrafiltration and nanofiltration methods; and adsorption purification.*

*The possibility and feasibility of applying modern methods for solving problems in the field of wastewater from dyeing and finishing production and its treatment in the textile industry have been established.*

**Key words:** textile industry, dyeing and finishing, dyes, wastewater, treatment.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 08.08.2025

Опубліковано: 27.10.2025