

УДК 628.34:676

<https://doi.org/10.31713/vt1202631>**Корчик Н.М.** [1; ORCID ID: 0000-0003-4919-6510],

К. Т. Н., доцент,

Буденкова Н.М. [1; ORCID ID: 0000-0003-2176-3405],

К. Х. Н., доцент,

Мисіна О. І. [1; ORCID ID: 0000-0003-2556-0947],

ст. викладачка,

Рудик Б. П. [1; ORCID ID: 0000-0003-0112-9466],

к.ф.-м. н., доцент,

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ХІМІЧНІ РЕАГЕНТИ В МЕТОДАХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Підприємства целюлозно-паперової промисловості (ЦПП) скидають у стічні води целюлозні волокна й розчини органічних та неорганічних речовин. Забруднені стічні води утворюються під час обробки целюлозної та паперової маси, промивання та згущення целюлози, конденсації здувань, розгону скипидар-сирцю, вилучення шламів, мокрого корування лісоматеріалів. Очищення стічних вод паперових підприємств хімічними реагентами включає використання реагентів для коагуляції, флокуляції, нейтралізації, окиснення та хімічного осадження для видалення органічних забруднень, важких металів та інших розчинених речовин. В даній роботі наведені основні хімічні реагенти в технологіях очищення стоків ЦПП, досліджена дія різних коагулянтів в поєднанні з дією окисників. Доведено, що фракційне коагулювання із застосуванням хімічних реагентів забезпечує стабільний ефект очищення, проте викликає значне вторинне забруднення. Експериментальним шляхом доведено, що застосування реагентів для регулювання рН та окиснення, а саме розчини вапна та гідроген пероксиду, забезпечують мінімальне вторинне забруднення стічних вод.

Ключові слова: хімічні реагенти, стічні води, коагулянти

Постановка проблеми.

Підприємства целюлозно-паперової промисловості (ЦПП) скидають у стічні води целюлозні волокна й розчини органічних та неорганічних речовин. Забруднені стічні води утворюються під час обробки целюлозної та паперової маси, промивання та згущення целюлози, конденсації здувань, розгону скипидар-сирцю, вилучення шламів, мокрому коруванню лісоматеріалів. Стічні води підприємств целюлозно-паперової промисловості являють собою полідисперсну систему, яка включає значну кількість грубодисперсних речовин (наприклад, клітковина, пігменти) та розчинені речовини органічного та неорганічного походження іонно-молекулярного ступеня дисперсності. Загальний ступінь забруднення таких стічних вод характеризується величиною біологічного споживання кисню (БСК), яке може досягати від 5000 г/л до 40000 г/л. Очищення таких стічних вод хімічними реагентами включає використання реагентів для коагуляції, флокуляції, нейтралізації, окиснення та хімічного осадження для видалення органічних забруднень, важких металів та інших розчинених речовин. Широке застосування хімічних методів очищення стічних вод зумовлене їх високою швидкістю, а також можливістю їх регулювання [1–3]. Як правило, при введенні реагентів їх складові частини частково залишаються у воді (від 90% до 20%), що викликає її вторинне забруднення [4]. При цьому застосування багаточисельних реагентів часто підвищує загальний солевміст стоків. Тому варто розглянути і оцінити хімічні процеси очищення стічних вод підприємств ЦПП із застосуванням товарних реагентів, що мінімізують вторинне забруднення.

Аналіз останніх досліджень.

З метою очищення стічних вод від домішок будь якого ступеня дисперсності система очисних споруд включає три основних елементи [4–6]:

- попереднє очищення із застосуванням механічних (проціджування) та гідромеханічних (відстоювання, фільтрування) методів для видалення крупних включень та грубодисперсних домішок;

- хімічне очищення (коагуляція, флокуляція, нейтралізація, окиснення, відновлення);

- біологічне глибоке доочищення.

Хімічні процеси, які передбачають застосування хімічних товарних реагентів, використовують для перетворення домішок

органічного та неорганічного походження будь якого ступеня дисперсності з метою їх знешкодження та виділення з води (табл. 1).

Таблиця 1

Основні реагенти для очищення водних систем

Регулювання pH			Коагулювання		Окисно-відновні процеси	
Луги	Кислоти	Солі	Середні солі	Основні солі	Окисники	Відновники
NaOH Ca(OH) ₂	H ₂ SO ₄ HCl H ₃ PO ₄	Na ₂ CO ₃ CaCO ₃	AlCl ₃ Al ₂ (SO ₄) ₃ FeCl ₂ FeCl ₃ FeSO ₄	AlOHSO ₄ [Al(OH) ₂] ₂ SO ₄ Al ₂ (OH) _n Cl _{6-n} (POLVAK)	O ₃ HClO ₂ H ₂ O ₂ у кислому середовищі	NaHSO ₃ FeSO ₄ FeS H ₂ O ₂ у лужному середовищі

Хімічні процеси застосовуються в таких технологіях очищення стічних вод підприємств ЦПП:

1. Коагулювання домішок стічних вод підприємств целюлозно-паперової промисловості. Найбільш ефективним визначено фракційне коагулювання, що зумовлене високими концентраціями компонентів у стічних водах [7]. Фракційне коагулювання передбачає додавання розрахункової кількості коагулянту до води не однією, а двома або декількома послідовними порціями. Найбільш поширеними коагулянтами при очищенні даної категорії стічних вод є алюміній сульфат Al₂(SO₄)₃, рідше застосовують ферум(II,III) хлорид FeCl₂, FeCl₃ та ферум(II) сульфат гептагідрат FeSO₄·7H₂O (залізний купорос), алюміній поліхлорид (водорозчинний неорганічний високомолекулярний полімер між AlCl₃ та Al(OH)₃, в процесі очищення води піддається гідролізу, утворюючи великі частинки (флокули), які адсорбують та осаджують забруднення), алюмокалієвий галун (квасци) KAl(SO₄)₄·12H₂O. Частіше коагулювання здійснюється у поєднанні з процесами флокуляції, що дозволяє утворювати більш міцні та важкі агрегати під дією поверхнево-активних речовин (ПАР). Встановлено дослідним шляхом покращення флокуляції в присутності катіонів Ca²⁺ (реагенти Ca(OH)₂, CaCO₃), що пояснюється комплексоутворенням і виникненням більш міцних місткових зв'язків [2].

2. Коректування значень pH за допомогою вапна перед додаванням коагулянту. Це забезпечує утворення міцних пластівців коагулянту. Взаємодія CaO з продуктами гідролізу коагулянтів

призводить до утворення алюмінату кальцію, який добре адсорбує розчинні домішки. Відомо, що кальцієві лужні реагенти мають переваги перед натрієвими (NaOH , Na_2CO_3). В даному випадки гелі гідроксиду алюмінію у кальцієвій формі піддаються менш інтенсивному старінню, ніж натрієві. Додавання кальцій карбонату забезпечує не тільки підвищення рН, що є важливим для формування ферумо- та алюмокальцієвих комплексів, а відіграє роль каламутнювача, який сприяє утворенню пластівців коагулянту за рахунок створення центрів конденсації твердої фази.

Слід зауважити, що дія коагулянтів, лужних реагентів (вапно, кальцій карбонат) забезпечує часткове вилучення розчинних солей за рахунок їх перетворенні в нерозчинні сполуки (гідроксиди, фосфати, карбонати, сульфіді тощо). Таким чином, застосування кальцієвих лужних реагентів сприяють зменшенню загальної концентрації солей та мінімізують вторинне забруднення.

3. Окиснення пероксидними сполуками. Пероксид водню та його сполуки (перкарбонат натрію) розглядаються як найбільш перспективні в технологіях очищення промислових стічних вод [3]. Це пов'язано з тим, що ці реагенти розкладають широкий спектр органічних сполук як в кислому (реакція Фентона), так і в лужному середовищі за наявності йонів феруму з утворенням гідроксидних радикалів та пергідроксосполук. Перевагою цих процесів є те, що вони відбуваються при кімнатній температурі та за атмосферного тиску.

Відомі технології очищення стічних вод підприємств ЦПП, які базуються на хімічних методах та включають фракційне коагулювання із застосуванням вказаних групи реагентів, наведені на рис. 1.

Наведена функціональна схема (рис. 1) включає групи декількох реагентів, а саме: для першої стадії застосовують ферум(III) хлорид, вапно CaO , Ca(OH)_2 , квасци; для другої – ферум(III) хлорид, вапно CaO , Ca(OH)_2 , квасци та флокулянт алюміній поліхлорид; для третьої стадії – ферум(III) хлорид, вапно CaO , Ca(OH)_2 та перкарбонат натрію. Дози коагулянтів складають у межах від 30 мг/л до 600 мг/л. Для коректування рН завжди використовують вапно. Оптимальне значення рН для солей алюмінію та феруму(III) 5–6, а для залізного купороса – 9–9,5. В результаті коагулювання відбувається зниження концентрації грубодисперсних домішок, барвників, зменшується окисність БСК та ХСК. За деякими

показниками ступінь очищення стічних вод за допомогою хімічних реагентів перевищує ступінь очищення біологічними методами.

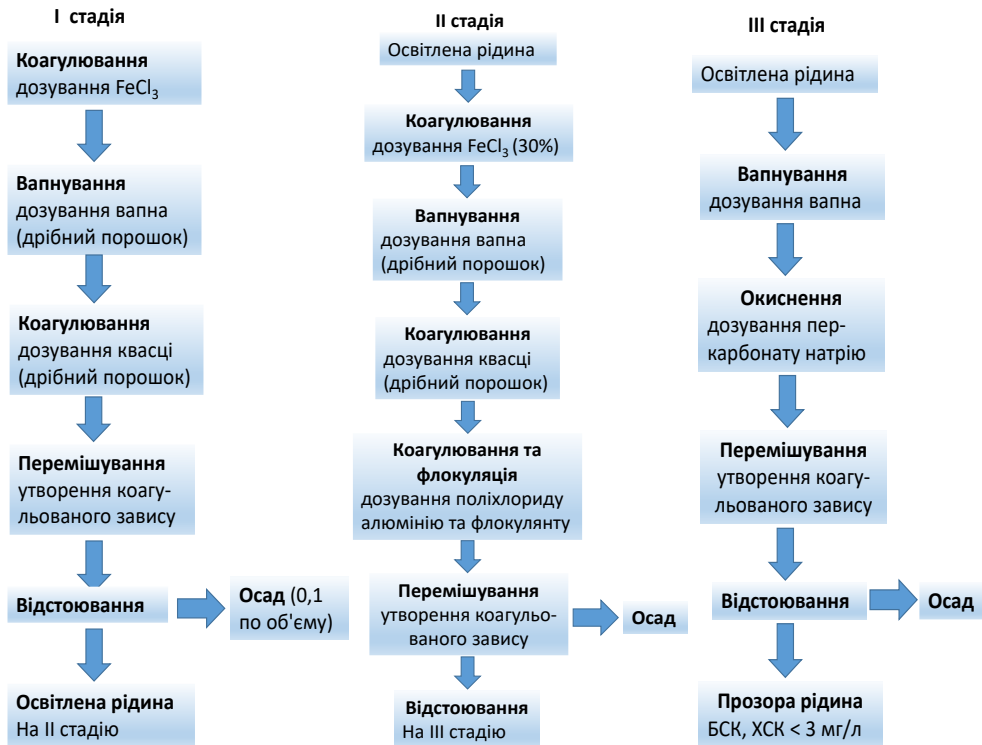


Рис.1. Функціональна схема багатостадійного очищення стічних вод, що включають хімічні процеси

Таким чином, поєднання фракційного коагулювання з окисненням дозволяє здійснювати високоефективне очищення стічних вод підприємств ЦПП (за показниками хімічного та біологічного споживання кисню: ХСК та БСК). При цьому забезпечується кінцева концентрація забруднень за показниками ХСК та БСК менше, ніж 3 мг/л. Недоліком цих технологій є застосування багаточисельних реагентів, при цьому не розглядається і не враховується загальний солевміст системи [6]. Тому виникає необхідність поєднання хімічних процесів з мембранними та сорбційними.

Більш сучасні технології включають мембранні процеси (ультрафільтрація) розділення, що дозволяє здійснювати очищення від крупних включень, зважених речовин у стічних водах

підприємств ЦПП. Однак, ця технологія не забезпечує очищення від розчинених органічних та неорганічних речовин. На існуючих системах очищення стічних вод мембранні установки ультрафільтрації рекомендовано застосовувати після відстоювання. Для висококонцентрованих стічних вод виникає необхідність попереднього очищення, наприклад коагулюванням. Вважається, що мембранні технології відповідають концепції сталого розвитку у зв'язку з малою витратою енергії на здійснення цього процесу. Проте наявність у стічних водах органічних домішок приводить до швидкого отруєння мембран, що значно збільшує вартість процесу очищення [8].

Зворотній осмос знайшов широке використання при очищенні стічних вод підприємств ЦПП. Застосування в технологіях як метод доочищення зворотній осмос дозволяє видалити велику кількість розчинених неорганічних речовин. Але, як будь який мембранний процес, він потребує значних матеріальних витрат [9–11].

Тому рекомендовано мембранні методи застосовувати у поєднанні з аеробним та анаеробним окисненням, а також з процесами гідромеханічного розділення, а саме флотації та фільтрування.

Біологічні споруди аеробного та анаеробного окиснення застосовуються після попереднього передочищення гідромеханічними процесами (або мембранними) та хімічного очищення (коагулювання у поєднанні з окисненням).

У зв'язку з тим, що системи очищення стічних вод підприємств ЦПП повинні бути багатофункціональними та забезпечувати очищення від домішок органічного та неорганічного походження, то виникає необхідність застосування уніфікованих технологій та обладнання. На даний час найбільш багатофункціональними та уніфікованими є хімічні технології з наступним глибоким біологічним доочищенням. Тому варто продовжувати дослідження в цьому напрямку, що передбачає застосування меншої кількості реагентів та контроль очищення стічних вод за окремими компонентами сольової системи.

Метою роботи є дослідження процесів коагулювання у поєднанні з процесами окиснення в системах очищення стічних вод підприємств ЦПП, що передбачає застосування хімічних реагентів з мінімальним вторинним забрудненням.

Методика досліджень.

Об'єктом дослідження були стічні води підприємства целюлозно-паперової промисловості за показником ХСК = 20800 мг/л, що відносяться до концентрованих розчинів. В ході досліджень проводили визначення наступних параметрів: рН, Eh, ХСК, концентрації зважених речовин, хлоридів, сульфатів, нітратів, амонію та твердість води. В дослідженнях застосовували такі реагенти: 10% розчин ферум(II) сульфату гептагідрату, 5% розчин вапняного молока, POLVAK (водні розчини гідроксохлоридів алюмінію загальною формулою $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$), 40% розчин гідроген пероксиду, 10% розчин сульфатної кислоти та ферум(II) сульфат гептагідрат у кристалічному вигляді.

Показники рН і Eh вимірювалися у лабораторних умовах на потенціометрі марки ЕВ 74 та у промислово-дослідних умовах з використанням портативного рН-метру рН 602 (Україна). Кількісні дослідження на вміст іонів проводились у лабораторних умовах за стандартними методиками: МБВ № 081/12-0106-03 масова концентрація амоній-іонів - фотоколориметричним методом з реактивом Несслера; МБВ № 081/12-0651 нітрат-іонів - фотоколориметричним методом; МБВ 081/12-0177-03 сульфат-іонів - титриметричним методом; МБВ 081/12-0004-01 хлорид-іонів методом аргентометричного титрування; МБВ № 81/12-0019-01 вимірювання хімічного споживання кисню (ХСК) біхроматним окисненням; ДСТУ 6059:2003 визначення сумарного вмісту кальцію і магнію (твердість води) титриметричним методом із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти [12]. Всі дослідження проводилися у сертифікованій лабораторії.

Результати досліджень

Досліджувана стічна вода характеризується такими органолептичними показниками: система неоднорідна, каламутна, коричневого кольору. Дослідження фільтрату після відділення осаду за окремими компонентами наведені в табл. 2.

Таблиця 2

рН	Eh	ХСК мг/л	Зважені речовини г/л	Cl ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	Твердість мг-екв/л	NH ₄ ⁺ мг/л	NO ₃ ⁻ мг/л	Солевміст
7,55	10	20800	15	1010	620	57,5	12,75	7	3,9 г/л

Як видно з табл. 2, стічна вода має слабколужне та слабооокисне середовище з високою концентрацією зважених речовин та розчинних органічних та неорганічних компонентів. До останніх належать: низькомолекулярна геміцелюлоза, метанол, оцтова кислота, мурашина кислота, феноляти, які підвищують БСК та ХСК стічних вод, а також токсичність їх для довкілля.

На першому етапі досліджували процес очищення із застосуванням найбільш розповсюджених для даної категорії стічних вод коагулянтів, а саме: ферум(II) сульфат гептагідрат, алюміній сульфат та вапняне молоко. Результати досліджень наведені у таблицях 3, 4.

Таблиця 3

Результати досліджень очищення стічних вод підприємств ЦПП із застосуванням ферумовмісного коагулянту (10% розчин FeSO_4)
Вихідний об'єм 50 мл, pH=7,8

Реагент	pH	Візуально
10% розчин FeSO_4 , 0,05 мл + 10 хвилин перемішування	5,6	Темнозелено-чорний
+ 5% розчин Ca(OH)_2 , 0,5 мл 1,5 мл 3,0 мл 5,0 мл Загальний час перемішування 15 хв	8,7 9,4 10,2 11,95	Темно-коричневий, дуже каламутний
Флокулянт		Незначний ефект. Через 3 хв відстоювання – утворюється осад, який легко осаджується, об'єм осаду – 14%. Шар освітленої рідини має значну залишкову мутність. Спостерігається утворення амоніаку. Кінцева концентрація за показником ХСК=9900 мг/л

Із наведених даних дослідження (табл. 3) відмічається недостатній ефект очищення за показником ХСК, а саме 52 %.

Таблиця 4

Результати досліджень очищення стічних вод підприємств ЦПП із застосуванням алюмінійвмісного коагулянту (10% розчин $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
Вихідний об'єм 50 мл, рН=7,8

Реагент	рН	Візуально
10% розчин $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 0,1 мл + 10 хвилин перемішування	6,65	Темнокоричнево-зелено-чорний
Флокулянт		Не спостерігається ніяких фізико-хімічних явищ. Колір рідини – темно-зелено-болотний, освітлена рідини має високу залишкову каламутність
5% розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 2,3 мл	12	Спостерігається виділення амоніаку, утворення крупних пластівців та швидке їх осадження. Об'єм осаду – 28%. Кінцева концентрація за показником ХСК = 3200 мг/л

Як видно з представлених даних табл. 4, більш значний ефект очищення досягається із застосуванням алюмінійвмісного коагулянту (10% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Ефект очищення за показником ХСК складає 85%. При цьому відмічається утворення освітленої рідини та осаду, який швидко ущільнюється. Тому в подальших дослідженнях застосовували алюмінійвмісний коагулянт (POLVAK, див. табл. 1). В той же час такий ефект очищення не відповідає умовам подальшого глибокого біологічного доочищення. Для запобігання підвищення солевмісту фракційне коагулювання не застосоване.

Тому на наступному етапі роботи досліджували можливості коагулювання алюмінійвмісним коагулянтом (І стадія) з подальшим окисненням гідроген пероксидом в присутності іонів Fe^{2+} (реакція Фентона).

На першій стадії в якості коагулянту застосовується POLVAK (6 мг/л), що забезпечує утворення зависі домішок стічних вод за умовами рН=6,6. При застосуванні флокулянта для інтенсифікації цього процесу утворюються великі пластівці, які швидко осідають та

утворюють осад, об'єм якого складає 40%. Відмічається, що завись легко розділяється фільтруванням. Прозорий фільтрат підлягає другій стадії очищення для окиснення розчинних органічних домішок (реакція Фентона). При цьому рекомендовані такі витрати реагентів: H_2O_2 – 16 мг/л, 10% розчин H_2SO_4 (для зниження рН до 2,3) – 10 мл/л, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (в товарному вигляді) – 1 г/л, 20% розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 340 мл/л. При цьому час реакції Фентона складає 2,5 години, об'єм осаду – 10% від загального об'єму рідини. Для подальшого корегування рН, здійснення умов зниження загального солевмісту за рахунок утворення нерозчинних сполук та віддування аміаку рекомендовано застосовувати вапно до рН=10. Відмічається утворення осаду об'ємом, що складає 20% від загального об'єму рідини, завись легко фільтрується, фільтрат прозорий та безколірний. Кінцева концентрація за показником ХСК=256 мг/л, що забезпечує загальний ефект очищення 98,7% та відповідає умовам наступного біологічного доочищення. При цьому встановлене незначне підвищення солевмісту, а саме солевміст збільшується на 27%: в тому числі сульфатів збільшується на 30% (фракційне коагулювання у 2 рази збільшується), хлоридів – зменшується на 12% (фракційне коагулювання збільшується на 10%) (табл. 5). Менший солевміст у порівнянні з фракційним коагулюванням пояснюється тим, що застосовуються ряд хімічних реагентів, які не викликають вторинне забруднення (пероксид водню) і які забезпечують (кальцієві лужні реагенти – розчин вапна) часткове видалення аніонної складової коагулянту та інших неорганічних компонентів за рахунок утворення нерозчинних сполук кальцію.

Таблиця 5

	ХСК мг/л	Cl^- мг/л	SO_4^{2-} мг/л	Твер- дість мг-екв/л	NH_4^+ мг/л	NO_3^- мг/л	Солевміст г/л
Вихідна, відстояна	3600	1010	620	30	12,75	7	1,7
Після I стадії очистки	1200	1166	520	27	12,75	3,3	2,16
Після II стадії очистки	256	884	830	50	5	-	2,21
Фракційне коагулювання в 2 етапи	600	1100	1360	-	-	-	2,8

Таким чином, застосування хімічних реагентів забезпечує стабільний ефект очищення і може бути рекомендований як основний метод в системах очищення стічних вод підприємств ЦПП. Застосування реагентів для регулювання рН та окиснення, а саме розчини вапна та гідроген пероксиду, забезпечують мінімальне вторинне забруднення стічних вод.

Висновки

1. Досліджувана стічна вода підприємств целюлозно-паперової промисловості характеризується такими показниками: концентрація органічних компонентів за показником ХСК 20800 мг/л, солевміст 3,9 г/л, характер середовища слабколужне та слабкоокисне з високою концентрацією зважених речовин та розчинних органічних та неорганічних компонентів.

2. Найбільш поширеними процесами очищення є хімічні у поєднанні з біологічними. При цьому найбільш ефективним є фракційне коагулювання у поєднанні з окисненням за допомогою пергідроксосполук (кінцева концентрація забруднень за показниками ХСК та БСК менше, ніж 3 мг/л). Недоліком цих технологій є застосування багаточисельних реагентів та високий загальний солевміст системи.

3. У зв'язку з тим, що системи очищення стічних вод підприємств ЦПП повинні бути багатофункціональними та забезпечувати очищення від домішок органічного та неорганічного походження, то виникає необхідність застосування уніфікованих технологій та обладнання. На даний час найбільш багатофункціональними та уніфікованими є хімічні технології з наступним глибоким біологічним доочищенням.

4. В результаті досліджень встановлено, що більш значний ефект очищення у порівнянні з ферумовмісним коагулянтном є застосування алюмінійвмісного (10% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, POLVAK). Ефект очищення за показником ХСК складає 85%. При цьому відмічається утворення освітленої рідини та осаду, який швидко ущільнюється. В той же час такий ефект очищення не відповідає умовам подальшого глибокого біологічного доочищення. Для запобігання підвищення солевмісту фракційне коагулювання не застосовується.

5. З метою підвищення ефекту очищення (після коагулювання), що відповідає умовам подальшого глибокого біологічного доочищення, рекомендоване застосування хімічних реагентів, які не

викликають вторинне забруднення (пероксид водню, реакція Фентона) і які забезпечують (кальцієві лужні реагенти – розчин вапна) часткове видалення аніонної складової коагулянту та інших неорганічних компонентів за рахунок утворення нерозчинних сполук кальцію.

6. Встановлені витрати хімічних реагентів, а саме: коагулянту, гідроген пероксиду, вапна, які забезпечують кінцеву концентрацію за показником ХСК=256 мг/л, що забезпечує загальний ефект очищення 98,7% та відповідає умовам наступного біологічного доочищення. При цьому встановлено підвищення солевмісту тільки на 27%, що на 36% менше в порівнянні з фракційним коагулюванням (збільшення солевмісту на 63%).

1. Корчик Н. М. Хімічні (реакторні) процеси очищення кислих відпрацьованих розчинів гальванічного виробництва від операцій покриттів. *Вісник НУВГП* : зб. наук. праць. Рівне, 2013. Вип.3 (63). С.93–100. 2. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підр. Київ : Вища школа, 2005. 671 с. 3. Фізико-хімічні методи очистки води. Управління водними ресурсами. Під ред. І. М. Астреліна та Х. Ратнавіри. 2015. 630 с. 4. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія. Рівне: НУВГП. 2013. 291 с. <https://ep3.nuwm.edu.ua/1703/1/731661%20zah.pdf>. 5. Кирилюк, С. В. Очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у комбінованій системі : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21 / Нац. ун-т водного господарства та природокористування. Рівне, 2017. 206 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20852/1/diss_Kyryliuk.pdf. 6. Котул В. В., Саблій Л. А. Способи вдосконалення технології очищення стічних вод целюлозо-паперових виробництв // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (25–26 листопада 2021 р., м. Київ, Україна). С.143–146. [content](#) 7. Запольський А. К. Очистка воды коагулюванням : монографія. Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-206». 2011. 296 с. 8. Crittenden J., Trussell R., Hand D., Howe K., Tchobanoglous G. MWH's Water Treatment: Principles and Design. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York. 2012. <https://doi.org/10.1002/9781118131473> 9. Байдур К., Стецюк А., Коломацький Н. Технологія очищення води мембранними методами // Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна). С. 82-87.DOI: [10.20535/EHS2710-3315.2024.304089](https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304089) 10. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Методи очищення стічних вод :навч.посібник. Вінниця: ВНТУ. 2014. 258 с. 11. Семінська О. О. Зворотноосмотичне очищення води від фосфатів Бортницької станції аерації м. Києва // «Екологія. Людина. Суспільство», XVIII Міжнародна

науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих учених (27-29 травня 2015 р., м. Київ) : збірка тез доповідей. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – С. 131–132. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/44966> 12. Федущак Н. К. Бідниченко Ю. Д., Крамаренко С.Ю. Аналітична хімія : підр. Вінниця: Нова книга, 2012. с. 477.

REFERENCES

1. Korchyk N . M. Khimichni (reaktorni) protsesy ochyshchennya kyslykh vidprats'ovanykh rozchyniv hal'vanichnoho vyrobnytstva vid operatsiyi pokryttya. Visnyk NUVHP : zb. nauk. prats'. Rivne, 2013. Vyp.3 (63). S.93–100.
2. Zapol's'kyy A . K. Fyzyko-khimichni osnovy tekhnolohiyi ochyshchennya stichnykh vod: pidr. Kyiv : Vyshcha shkola, 2005. 671 s. 3. Fyzyko-khimichni metody ochyshchennya vody. Upravlinnya vodnymy resursamy. pid red. I M. Astrelina ta KH. Ratnaviry. 2015. 630 s. 4. Sabliy L . A. Fyzyko-khimichni ta biolohichni ochyshchennya vysokokontsentrovanykh stichnykh vod: monohrafiya. Rivne: NUVHP. 2013. 291 s. <https://ep3.nuwm.edu.ua/1703/1/731661%20zah.pdf>. 5. Kyrylyuk , S . V. Ochyshchennya kontsentrovanykh stichnykh vod hal'vanichnoho vyrobnytstva u kombinovaniy systemi : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.17.21 / Nats. un-t vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Rivne, 2017. 206 s. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20852/1/diss_Kyryliuk.pdf 6. Kotul V . V., Sabliy L. A. Sposoby udoskonalennya tekhnolohiyi ochyshchennya stichnykh vod tselyulozo-paperovoho vyrobnytstva // Materialy VII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Chysta voda. Fundamental'ni, prykladni ta promyslovi aspekty» (25-26 lystopada 2021 r., m. Kyiv, Ukrayina). S.143-146. zmist 7. Zapol's'kyy A. K. Ochystka vody koahulyuvannyam : monohrafiya. Kam"yanets'-Podil's'kyy: PP «Medobory-206». 2011. 296 s. 8. Krittenden Dzh., Trassell R., Khend D., Khou K., Chobanohlus H. Ochyshchennya vody MWH: pryntsypy ta dyzayn. 3-ye vydannya, John Wiley & Sons, Inc., N'yu-York. 2012. <https://doi.org/10.1002/9781118131473> 9. Baydur K., Stetsyuk A., Kolomats'kyy N. Tekhnolohiya ochyshchennya vody membrannymy metodamy // Materialy XKHIV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Ekolohiya. Lyudyna. Suspil'stvo» (5 chervnya 2024 r., m. Kyiv, Ukrayina). S. 82-87.DOI: 10.20535/EHS2710-3315.2024.304089 10. Petruk V . H., Severyn L. I., Vasyli'kivs'kyy I. V., Bezvozyuk I. I. Metody ochyshchennya stichnykh vod :navch.posibnyk. Vinnytsya: VNTU. 2014. 258 s. 11. Semins'ka O . O. Zvorotnoosmotychne ochyshchennya vody vid fosfativ Bortnyts'koyi stantsiyi

aeratsiyi m. Kyiv. Kyiv // «Ekolohiya. Lyudyna. Suspil'stvo», XVIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh (27-29 travnya 2015 r., m. Kyiv) : zbirka tez dopovidey. – Kyiv : NTUU «KPI», 2015. – S. 131–132. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/44966> 12. Fedushchak N. K. Bidnychenko YU. D., Kramarenko S.YU. Analitychna khimiya : pidr. Vinnytsya: Nova knyha, 2012. s. 477.

Korchyk N. M. [1; ORCID ID: 0000-0003-4919-6510],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Budenkova N. M. [1; ORCID ID: 0000-0003-2176-3405],

Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Mysina O. I. [1; ORCID ID: 0000-0003-2556-0947],

Senior Lecturer,

Rudyk B. P. [1; ORCID ID: 0000-0003-0112-9466],

Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate
Professor,

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

CHEMICAL REAGENTS IN WASTEWATER TREATMENT METHODS OF PULP AND PAPER INDUSTRY ENTERPRISES

Pulp and paper industries discharge cellulose fibers and solutions of organic and inorganic substances into wastewater. Contaminated wastewater is generated during pulp and paper pulp processing, pulp washing and thickening, blowdown condensation, raw turpentine dispersion, sludge extraction, and wet debarking of timber. Chemical treatment of paper mill wastewater includes the use of reagents for coagulation, flocculation, neutralization, oxidation, and chemical precipitation to remove organic contaminants, heavy metals, and other dissolved substances. This paper presents the main chemical reagents in pulp and paper industry wastewater treatment technologies, and investigates the effect of various coagulants in combination with the action of oxidants. It has been proven that fractional coagulation using chemical reagents provides a stable cleaning effect, but causes significant secondary pollution. It has been experimentally proven that the use of reagents for pH regulation and oxidation, namely lime solutions and hydrogen peroxide, ensures minimal secondary pollution of wastewater.

Keywords: chemical reagents, wastewater, coagulant

Отримано: 22 січня 2026 року
Прорецензовано: 25 лютого 2026 року
Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Korchyk N. M, Budenkova N. M., Mysina O. I., Rudyk B. P.]. Licensee [NUWEE].
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of
the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license
([creativecommons.org](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).