

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки
життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему:

**Оцінка та удосконалення технологій очищення стічних вод
деревообробних підприємств**
*Evaluation and improvement of wastewater treatment technologies for
woodworking enterprises*

Виконав: студент 6 курсу, групи ТЗНС-61м
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

Герасимів Олег Зіновійович
(прізвище та ініціали)

Керівник Соколовський І.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ференц О.Б.
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут
Кафедра

деревообробних технологій і дизайну
технологій захисту навколишнього
середовища і деревини та безпеки
життєдіяльності
магістр
183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

Освітній рівень
Спеціальність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“30” серпня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Герасимів Олег Зіновійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Оцінка та удосконалення технологій очищення стічних вод
деревообробних підприємств**

*Evaluation and improvement of wastewater treatment technologies for
woodworking enterprises*

Керівник роботи: Соколовський Ігор Андрійович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом НЛТУ України від “15” травня 2025 року № С- 316

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати огляд літературних джерел з проблематики, дослідження стічних вод
деревообробного виробництва і технологій їх очищення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) _____

1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.



2. Дослідження стічних вод та вивчення, аналіз та порівняння методик
очищення виробничих стоків. Розроблення рекомендацій щодо вдосконалення
технологій очищення стічних вод з урахуванням специфіки деревообробного
виробництва

3. Охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу матеріалу

(слайди презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень)

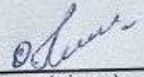
6. Консультанти розділів роботи

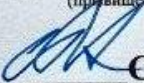
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	доц. Сомар Г.В.		

7. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
	Аналіз стану питання	до 01.10.25	
	Теоретичні дослідження	до 15.11.25	
	Аналіз та оцінка результатів досліджень	до 30.11.25	
	Охорона праці	до 05.12.25	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.25	

Студент  **Герасимів Олег Зіновійович**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  **Соколовський І.А.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ

Розділ 1. Огляд літературних джерел та аналітичний огляд технологій очищення

- 1.1. Характеристика стічних вод деревообробних підприємств
- 1.2. Класифікація та джерела забруднення
- 1.3. Існуючі методи очищення стічних вод
- 1.4. Аналіз ефективності діючих технологій в Україні та за кордоном

Розділ 2. Оцінка ефективності існуючих технологій на прикладі підприємства з виробництва плитних матеріалів

- 2.1. Загальна характеристика підприємства
- 2.2. Аналіз складу та об'ємів стічних вод
- 2.3. Діагностика та експертна оцінка наявної системи очищення
- 2.4. Визначення недоліків і слабких місць існуючої технології

Розділ 3. Удосконалення технології очищення стічних вод деревообробного підприємства

- 3.1. Розробка або адаптація нової (або вдосконаленої) технології
- 3.2. Обґрунтування вибору методів очищення
- 3.3. Розрахунки параметрів обладнання
- 3.4. Експериментальна перевірка ефективності
- 3.5. Порівняльний аналіз ефективності до та після удосконалення

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Висновки до роботи

Список використаних джерел

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглядається проблема очищення стічних вод деревообробних підприємств, які містять специфічні забруднювачі – деревну пилюку, смоли, феноли, клеєві компоненти та інші органічні речовини. Наведено аналіз сучасних технологій очищення, зокрема механічних, фізико-хімічних та біологічних методів. Здійснено дослідження ефективності діючої системи очищення на прикладі конкретного деревообробного підприємства.

На основі виявлених недоліків запропоновано комплексну модернізацію існуючої системи, яка передбачає вдосконалення стадій попереднього очищення та інтеграцію додаткових фільтраційних і сорбційних методів. Запропоновані рішення дозволяють знизити вміст основних забруднювачів у стічних водах до рівня, що відповідає нормативам, а також зменшити витрати на очищення в довгостроковій перспективі.

Результати дослідження мають практичне значення для підприємств деревообробної галузі та можуть бути використані при проектуванні або модернізації систем очищення стічних вод.

ABSTRACT

The master's thesis considers the problem of wastewater treatment of woodworking enterprises, which contain specific pollutants - wood dust, resins, phenols, adhesive components and other organic substances. An analysis of modern purification technologies, in particular mechanical, physicochemical and biological methods, is presented. The effectiveness of the existing purification system is studied using the example of a specific woodworking enterprise.

Based on the identified shortcomings, a comprehensive modernization of the existing system is proposed, which involves improving the stages of preliminary purification and integrating additional filtration and sorption methods. The proposed solutions allow reducing the content of major pollutants in wastewater to a level that meets the standards, as well as reducing treatment costs in the long term.

The results of the study are of practical importance for enterprises in the woodworking industry and can be used in the design or modernization of wastewater treatment systems.

ВСТУП

Сучасна деревообробна промисловість є важливим сектором економіки, що забезпечує попит на продукцію з деревини, сприяє розвитку будівництва, меблевої індустрії, експорту та зайнятості населення. Водночас технологічні процеси деревообробки супроводжуються утворенням значних обсягів стічних вод, які містять широкий спектр органічних і неорганічних забруднювачів. Зважаючи на зростання екологічних вимог, питання очищення таких стічних вод стає все більш актуальним.

В умовах загострення екологічних проблем особливого значення набуває ефективне очищення виробничих стічних вод, зокрема у деревообробній промисловості. У процесі обробки деревини утворюються стічні води, що містять органічні забруднення (смоли, феноли, залишки клеїв, деревний пил), а також домішки лакофарбових матеріалів. Викид недостатньо очищених вод у навколишнє середовище призводить до деградації водних екосистем, забруднення підземних вод і створення санітарно-епідеміологічних загроз.

Серед новітніх технологій, які демонструють високу екологічну ефективність і відносну енергоощадність, біофільтраційні методи очищення займають особливе місце. Біофільтри забезпечують розкладання органічних речовин за участі мікроорганізмів, закріплених на носії — завдяки чому досягається значне зменшення концентрації забруднювачів без використання агресивної хімії. Розвиток таких систем є перспективним напрямом підвищення екологічної безпеки деревообробних підприємств.

Наявні на підприємствах системи очищення часто є застарілими або не відповідають сучасним екологічним стандартам. Це створює ризики для довкілля та здоров'я населення, особливо у регіонах з високою концентрацією деревообробних підприємств. Таким чином, постає необхідність в обґрунтованій оцінці діючих технологій та розробці шляхів їх удосконалення з метою підвищення ефективності та екологічної безпеки.

Актуальність теми обумовлена зростаючими екологічними загрозами, пов'язаними з недостатньо ефективним очищенням стічних вод деревообробної промисловості. Стічні води таких підприємств можуть містити залишки клеїв, лакофарбових матеріалів, фенолів, смол, деревного пилу та інших токсичних речовин, які забруднюють ґрунтові води, водні об'єкти та негативно впливають на екосистеми.

Оскільки більшість підприємств експлуатує технології, що не оновлювались десятиліттями, дослідження ефективності наявних методів очищення та пошук інноваційних або комбінованих технологічних рішень є критично важливим для забезпечення сталого розвитку галузі.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – провести всебічну оцінку ефективності існуючих технологій очищення стічних вод деревообробних підприємств та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх удосконалення.

Завдання дослідження:

Проаналізувати типові джерела та склад стічних вод деревообробного виробництва.

Провести огляд сучасних технологій очищення, які застосовуються в галузі.

Здійснити аналіз ефективності існуючої системи очищення на прикладі конкретного підприємства.

Визначити недоліки діючої технології та фактори, що знижують її ефективність.

Запропонувати технічно та економічно обґрунтовані шляхи удосконалення очищення стічних вод.

Провести екологічне та економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес очищення стічних вод деревообробних підприємств. Предмет дослідження – технологічні схеми та інженерні рішення з

очищення виробничих стічних вод, а також їх вплив на екологічну безпеку навколишнього середовища.

У роботі використано комплексний підхід, який поєднує теоретичні й практичні методи дослідження.

.Зокрема застосовано:

Аналіз літературних джерел щодо сучасних технологій очищення стічних вод;

Методи екологічного моніторингу для оцінки складу та властивостей стічних вод;

Експертну оцінку ефективності діючих систем очищення;

Порівняльний аналіз технологічних рішень;

Методи техніко-економічного обґрунтування для вибору оптимального варіанту удосконалення;

Моделювання та розрахунки параметрів обладнання для модернізованої системи.

Наукова новизна полягає у визначенні оптимальних технологічних рішень очищення стічних вод деревообробних підприємств із урахуванням реальних умов експлуатації та складу забруднень. В роботі запропоновано комбіновану систему очищення з використанням сучасних фільтраційно-сорбційних та біологічних методів, що забезпечує підвищення ефективності очищення при зменшенні експлуатаційних витрат.

Практична значущість полягає в можливості впровадження результатів дослідження у виробничу діяльність підприємств галузі. Запропоновані заходи можуть бути використані для реконструкції існуючих очисних споруд, зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище та досягнення відповідності сучасним екологічним стандартам.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ

1.1. Характеристика стічних вод деревообробних підприємств

Деревообробні підприємства формують складні за структурою стічні води. Їхній компонентний склад залежить від технологічних процесів, що використовуються під час виготовлення деревних плит, фанери, меблів, просочення деревини, шліфування, лакування та гранулювання деревних відходів.

Основні джерела утворення стічних вод [12-16]:

- гідротермальна обробка деревини (замочування, пропарювання);
- миття обладнання й інструменту;
- охолодження механізмів та пресів;
- виведення конденсату від технологічної пари;
- миття деревинної сировини;
- приготування клеїв, смол та просочувальних композицій;
- лакофарбові ділянки.

Основні показники забруднення

У стічних водах деревообробних підприємств зазвичай фіксуються такі параметри:

Таблиця 1. Основні показники забруднення

Показник	Типові значення	Характеристика
pH	5.0–9.0	Залежить від операцій: кислі – після пропарювання, лужні – після клеїв та мийних лужних розчинів
БСК₅	100–2000 мг/л	Висока концентрація органіки
ХСК	500–5000 мг/л	Значне навантаження на біологічні системи
Феноли	0.05–15 мг/л	Токсичні, слабо біорозкладні
Формальдегід	0.1–10 мг/л	Типово для виробництв ДСП/МДФ
Завислі речовини (TSS)	200–1500 мг/л	Деревний пил, волокна, частки кори
Солі та мінерали	200–1000 мг/л	Від мийних засобів, охолоджувальних систем
Показник	Типові значення	Характеристика
pH	5.0–9.0	Залежить від операцій: кислі – після пропарювання, лужні – після клеїв та мийних лужних розчинів

Основні групи забруднювачів:

1. **Органічні:** лігнін, геміцелюлози, смоли, таніни, формальдегід, фенолформальдегідні смоли, ПАР.
2. **Нерозчинені тверді частки:** волокна, пил, кора.
3. **Хімічні реагенти:** розчинники (ксілол, толуол), ізоціанати, спирти.
4. **Мінеральні домішки:** кальцій, магній, карбонати, сульфати.
5. **Токсичні сполуки:** феноли, формальдегід, компоненти клеїв та лаків.

У виробництві деревних плит та гідротермальній обробці вода використовується для замочування, охолодження та миття обладнання, часто

при температурах 50–70 °С. При цьому утворюються екстракти целюлози, лігніну, фенолів, смол, які потрапляють у стічні води.

Значення COD коливаються від 200 до 11 000 мг О₂/л, в п'єнових зразках до 3000–4900 мг О₂/л із рН ≈ 5–6.

Показники BOD₅/ COD—BOD₅ може становити 150–1000 мг/л, а COD — 300–2500 мг/л у паперовій промисловості; на plywood-виробництві COD до 4900 мг/л у випадку гідротермально обробленої деревини .

Зважені частки (TSS) — 600–1500 мг/л, загальні тверді речовини — 1400–2500 мг/л.

РН варіює від кислої (≈ 5.0) у гідротермальних водах до слабощільно-лужної (8–9) у потоках після миття деревини чи обладнання.

1.2. Класифікація та джерела забруднення

Джерела стоків:

Миття деревних щеп, обладнання, басейнів (механічне забруднення, домішки клеїв, смол) .

Гідротермальна обробка — виділяються фенольні, лігніні, смоли, флуїди для розм'якшення деревини.

Відходи від складування, кірки, пилюка.

Типи забруднень:

Органічні: лігнін, феноли, ПАР, клеї, деревний пил.

Нерозчинні частки: волокна, забруднення від мийних речовин.

Неорганічні: солі NaOH, Na₂SO₄, мінеральні домішки.

Структура забруднення визначається типом виробництва:

Схема 1. Джерела та типи забруднень стічних вод деревообробки

Сировина → Миття → TSS, волокна

Гідротермальна обробка → Лігнін, феноли

Лакофарбові роботи → Розчинники, ПАР

Підготовка клеїв → Формальдегід, смоли

Шліфування → Пил, мікрочастки деревини

Пресування плит → Органіка, перегріта вода, смоли

Класифікація забруднень

1. Фізичні забруднення:

- тверді частки,
- волокна,
- мікропил,
- колоїдні суспензії.

2. Хімічні:

- фенолформальдегідні смоли,
- ПАР,
- кислоти та луги,
- екстрактивні речовини деревини.

3. Органічні біорозкладні:

- БСК-формуєчі сполуки,
- залишки природної органіки.

4. Токсичні:

- феноли,
- формальдегід,
- легкі ароматичні вуглеводні.

1.3. Існуючі методи очищення стічних вод [15-18]

Фізичні технології

Седиментація і флоатація: первинні установки можуть видалити >80% TSS, DAF – до 98% TSS .

Мембранні фільтри (NF, UF) — можуть забезпечити видалення органіки до TOC = 92,5%, сульфатів до 88,7% та Mg^{2+} до 99,99% ..

Хімічні методи

Коагуляція/флокуляція (алюміній, поліалюміній хлорид, хітозан) – видаляють ~ 80% TSS і ~ 78% COD у паперовій промисловості.

АОР (озон, Fenton, UV/O₃ тощо) – фотокаталітичні та окисні методи, здатні знизити COD на 85–95% (Fenton) .

Біологічні технології

Аеробні технології: активний мул, аеротенки, біобасейни — забезпечують BOD вирок 85–98%, COD – 60–85% .

Анаеробні системи (UASB): підходять для висококонцентрованих стоків; дають біогаз; менша кількість мулу, нижче енергоспоживання .

Гібридні анаеробно-аеробні реактори (FFB, UBF + MBR): забезпечують стабільність, зменшують засмічення, високу якість effluent (MBR)

Аеробні гранули (aerobic granular sludge) у SBR — компактні, ефективні для COD, BOD, N, P; економлять до 75% площі, знижують витрати на 20%

Конструйовані штучні болота — субповерхневі Wetlands забезпечують видалення COD до ~ 88%, BOD – ~ 97%, азоту ~96%

Мікробні паливні елементи (MFC) — комбінують анаеробну очистку з виробленням енергії, COD-видалення може зростати до 87–94% при змішаних потоках з муніципальним стоком

1.4. Аналіз ефективності діючих технологій: Україна та світ

Пульп і паперова промисловість (європейський досвід): BOD₅ видалення 85–98%, COD 60–85%; високотехнологічні комбіновані системи досягають нормативів під 200 мг/л COD .

Виробництво деревних плит та гідротермальна обробка: часті COD >3000 мг/л; прості коагуляційні методи дають ~57% видалення COD, АОР 80% .

MFC-дослідження (Польща): при змішанні WHTW + муніципальні стоки проведено видалення COD ≈ 94% за ≈ 22 дні при оптимальному опорі 1000 Ω. Без змішування — <40% після тривалого часу .

Малодецентралізовані системи ЄС (Німеччина): MBBR, SBR, MBR виявилися ефективними при COD >1000 мг/л, TSS >700 мг/л; придатні для повторного використання effluent у зрошенні.

Сучасні технології очищення поділяють на **механічні, фізико-хімічні, хімічні, біологічні та мембранні.**

✓ **. Механічні методи**

- решітки;
- пісколовки;
- відстійники;
- фільтри грубого очищення;
- флотатори.

✓ **. Фізико-хімічні методи**

- коагуляція/флокуляція (солі Al, Fe, поліелектроліти);
- сорбція (активоване вугілля, цеоліти);
- екстрагування;
- іонний обмін.

✓ **Хімічні процеси (AOP)**

- озонування;
- Fenton-реакція ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$);
- пероксидування;
- UV/ H_2O_2 .

✓ **. Біологічні методи**

- активний мул;
- аеротенки;
- біофільтри;
- біореактори з фіксованою плівкою;
- штучні водойми з вищими рослинами;
- анаеробні реактори (UASB, EGSB).

✓ Мембранні методи

- ультрафільтрація (UF);
- нанофільтрація (NF);
- зворотний осмос (RO);
- мембранні біореактори (MBR).

Таблиця 2. Порівняння методів за ефективністю видалення забруднень

Метод	TSS	COD	BOD ₅	Феноли	Переваги	Недоліки
Відстійники	+++	+	+	–	Простота	Великі площі
Коагуляція	+++	++	++	+	Добре видаляє колоїди	Утворення осаду
Сорбція	+	+++	++	+++	Видалення токсинів	Дорога регенерація
Біофільтр	++	++	+++	++	Стабільність	Чутливість до токсинів
Аеротенк	+	++	+++	+	Надійність	Висока енергоємність
Ультрафільтрація	+++	++	++	++	Глибоке очищення	Мембранне забруднення
RO	+++	+++	+++	+++	Високий рівень очищення	Висока ціна

Таблиця 3: Порівняльна оцінка технологій очищення [18-20]

Метод	Вид забруднення	Ефективність (COD/BOD ₅)	Переваги	Недоліки
Седиментація / DAF	TSS	>80% TSS	Простота, низька ціна	Не очищує розчинену органіку
Мембрани (UF, NF)	Organic, TOC, солі	до 92% TOC	Глибоке очищення	Висока вартість, засмічення
Коагуляція / флокуляція	Lipophilic, TSS, COD	~80%	Простота, оперативність	Хімічна навантаження, утворення осаду
AOP (Fenton, Ozon, UV/O ₃)	Жорсткі токсичні речовини	до 95% COD	Ефективність для рекальцифікації	Висока енергоємність, вартість
Аеробна біологія (AS, lagoons)	BOD ₅ , COD	BOD ₅ : 85–98%, COD: 60–85%	Випробовано, стабільна технологія	Великі площі, активний мул
Анаеробна / UASB	Висока правка органіки	≈60–80% COD + біогаз	Енергозбереження, низький мул	Потребує температури, H ₂ S проблеми
Гібридні FFB + MBR	Серія анаеро-аерообробки	Дуже висока якість effluent	Менше засмічення, стабільна якість	Вартість, технічна складність
Aerobic granular sludge (SBR)	BOD, COD, N, P	висока (80–95%)	Компактність, стійкість, низький footprint	Потрібне дозоване управління процесом
Constructed wetlands (subsurface)	COD, BOD, N, патогени	COD ~88%, BOD ~97%, N ~96%	Недорогі, екологічні	Велика площа, не для великих потоків
MFC (мікробні паливні елементи)	COD, органіка	до 94% при оптимальних умовах	Енерговиробництво, без хімії	Тривалий запуск, складна оптимізація
Метод	Вид забруднення	Ефективність (COD/BOD ₅)	Переваги	Недоліки

Цей огляд дозволяє побачити, що для деревообробної галузі найбільш доцільними є комбіновані схеми: первинна фізична очистка + біологічна (аеробна чи гібридна) + можливе використання АОР або МФС для додаткового зниження COD до стандартів.

1.5. Біологічне очищення стічних вод: загальна характеристика

Біологічне очищення – це процес руйнування та перетворення органічних забруднень у стічних водах за допомогою мікроорганізмів. Воно є ключовим етапом у багатоступневих системах очищення виробничих стоків, особливо тих, які містять органічні речовини природного або синтетичного походження.

Таблиця 5. Методи біологічного очищення

Тип очищення	Характеристика
Аеробне	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Здійснюється у присутності кисню. Органічні речовини окиснюються до CO₂, H₂O, нітратів. ▪ Застосовуються біофільтри, аеротенки, біобасейни.
Анаеробне	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Без доступу кисню. ▪ Органіка розкладається з утворенням метану, аміаку, сірководню. Енергоефективне, але повільніше.
Факультативне	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Поеднує обидва процеси. ▪ Залежить від умов у біореакторі.

Біофільтри як метод аеробного очищення

Біофільтри — це інженерні споруди, в яких здійснюється біологічне очищення стічних вод шляхом фільтрації через шар матеріалу, на якому росте біоплівка з мікроорганізмами. Вони є енергоефективною альтернативою традиційним аеротенкам, особливо для середньо- та слабо-забруднених вод.

Основні типи біофільтрів та їх характеристики

За режимом роботи:

Крапельні біофільтри – стічна вода подається на поверхню носія й крапає вниз, омиваючи біоплівку.

Занурені біофільтри (субмерсивні) – носій занурений у стічну воду, а аерація подається знизу.

Ротаційні біореактори – диски з біоплівкою обертаються, періодично занурюючись у воду.

За типом носія:

Кам'яні (гравійні) – природний фільтруючий шар, дешеві, але масивні.

Пластикові (структуровані полімери) – легкі, велика питома площа, стійкі до корозії.

Біокерамічні та поліуретанові – мають мікропористу структуру, добре утримують мікроорганізми.

За режимом завантаження:

Періодичні (пакетні) – вода подається порціями.

Безперервні – постійний потік стічних вод.

4. Ключові переваги біофільтрів

Висока ефективність для БСК₅, ХСК, фенолів, ПАР.

Простота експлуатації та технічного обслуговування.

Низьке енергоспоживання (особливо у крапельних фільтрах).

Компактність конструкцій (порівняно з аеротенками).

Можливість модернізації та модульного нарощування.

5. Основні недоліки

Чутливість до коливань навантаження та температури.

Не завжди ефективні для висококонцентрованих забруднень.

Необхідність періодичної заміни або очищення носія.

Можливість засмічення або зниження активності біоплівки при нерегулярному догляді.

Таблиця 6 Порівняння основних типів біофільтрів

Тип біофільтра	Тип носія	Режим роботи	Ефективність очищення (БСК₅)	Переваги	Недоліки
Крапельний	Камінь, пластик	Безперервний	70–90%	Простота, низьке енергоспоживання	Великі розміри, ризик забивання
Субмерсивний	Пластик, біокераміка	Безперервний + аерація	85–95%	Висока ефективність, компактність	Потребує аерації, складніший догляд
Ротаційний біодиск	Пластикові диски	Обертальний	85–95%	Автоматизація, стабільна біоплівка	Висока вартість обладнання
Зі штучним носієм (поліуретан, кераміка)	Мікропористі матеріали	Залежно від системи	90–97%	Висока поверхнева активність, гнучкість	Дорожчі носії, складна утилізація відходів

Таким чином, біофільтри є доцільними для очищення органічно забруднених стічних вод деревообробних підприємств, зокрема з вмістом фенолів, клеїв, ПАР та розчинених деревних речовин.

Найбільш перспективними є сучасні пластикові біофільтри з зануреним носієм, які забезпечують стабільну роботу за мінімального втручання оператора.

Доцільним є використання модульних конструкцій, які дозволяють нарощувати потужність системи при збільшенні обсягів стоків.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА НОРМАЛІЗАЦІЯ СТИЧНИХ ВОД ВИРОБНИЦТВ ПЛИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Виробничі та побутові джерела утворення відходів деревинностружкових плит (ДСП)

Загальна характеристика утворення відходів

Деревинностружкові плити (ДСП) – це листові композитні матеріали, отримані шляхом пресування деревної стружки, змішаної з термореактивними смолами. Вони є ключовим конструктивним елементом у меблевому виробництві, будівництві, інтер'єрі. Проте їх активне використання супроводжується значним утворенням відходів на різних етапах життєвого циклу: від виробництва до списання готової продукції.

Відходи ДСП класифікуються як **виробничі** (що утворюються в процесі обробки нових плит) та **побутові/експлуатаційні** (що виникають після використання продукції у побуті або комерційній діяльності).

2.1.1 Виробничі джерела утворення відходів

У промисловості відходи ДСП генеруються на таких основних етапах:

1) Розкрій плит

- Найбільший обсяг залишків утворюється при первинному розкрої плит на заготовки для меблевих деталей.
- Через геометричну невідповідність розміру плити та потрібних деталей формується **обрізь** — шматки неправильної форми.
- Наприклад, при розкрої стандартної плити 2800×2070 мм на шафові деталі залишається до 10–15% неефективно використаного матеріалу.

2) Механічна обробка

- Фрезерування, шліфування, свердління, облицювання генерують дрібну стружку, пил та шліфувальний абразивний залишок, що містить смоли.
- Ці частинки забруднюють повітря, мають підвищену летючість та потребують спеціальної системи аспірації.

3) Технологічні обслуговування і налагодження обладнання

- Витрати плит на пробні пуски, калібрування ліній, налаштування пресів — ще одне джерело некондиційної продукції.

4) Відбракування готових деталей

- Деякі партії заготовок вибраковуюються через дефекти (розшарування, сколи, дефекти ламінування, підвищений вміст формальдегіду).
- Такі елементи накопичуються на виробництві й потребують утилізації.

Типова структура виробничих відходів ДСП на меблевому підприємстві:

- обрізки – 45–60%;
- пил – 20–30%;
- шліфувальний пил – 10–15%;
- браковані деталі – 5–10%.

2..1.2 Побутові та післяексплуатаційні джерела утворення

Використані деревинностружкові плити продовжують генерувати відходи вже **поза межами виробництва**, серед яких:

1) Демонтаж меблів, внутрішнього оздоблення

- Списання або ремонт старих меблів, офісного та побутового інтер'єру створює великі об'єми вторинного сміття з ДСП.

- Такі відходи зазвичай мають **ламіноване або декоративне покриття**, а також металеві або пластикові елементи кріплення.

2) Будівельне та ремонтне сміття

- ДСП використовуються як конструкційні панелі в тимчасових перегородках, чорнових підлогах, дахових щитах.

- Після демонтажу в результаті ремонтів вони йдуть на звалище у вигляді **змішаного будівельного сміття**.

3) Відходи побутових споживачів

- Домашні користувачі, змінюючи меблі або модифікуючи наявні, утворюють дрібні фрагменти, обрізки, старі полицки тощо.
- Через відсутність централізованого збору такі відходи часто потрапляють на несанкціоновані звалища.

4) Комерційні підприємства (торгові мережі, салони)

- Склади, магазини, виставкові зали утворюють відходи у вигляді **старих вітрин, стендів, зразків меблів**.
- Через складність демонтажу та великі об'єми ці відходи часто просто спалюються або захоронюються.

2.1.3 Особливості поводження з відходами ДСП

- Усі вищезазначені джерела є **потенційними об'єктами для рециклінгу**, однак перешкодою є зміст **токсичних смол (формальдегід)** і **гетерогенність** структури (метал, ПВХ, клей, фарба).
- Пилоподібні залишки важко зібрати та використовувати через вибухонебезпечність і токсичність.
- Побутові відходи потребують попереднього **сортування та очистки**, що підвищує витрати на переробку.

2.2. Хімічний склад та фізико-механічні характеристики відходів

Відходи деревинностружкових плит (ДСП), які утворюються як у виробництві, так і після експлуатації, зберігають основні властивості самого матеріалу. Для подальшого поводження з ними — рециклінгу або утилізації — важливо розуміти їхній хімічний склад та фізико-механічні характеристики, які впливають на екологічну безпеку, технологічність повторного використання і ризику для здоров'я.

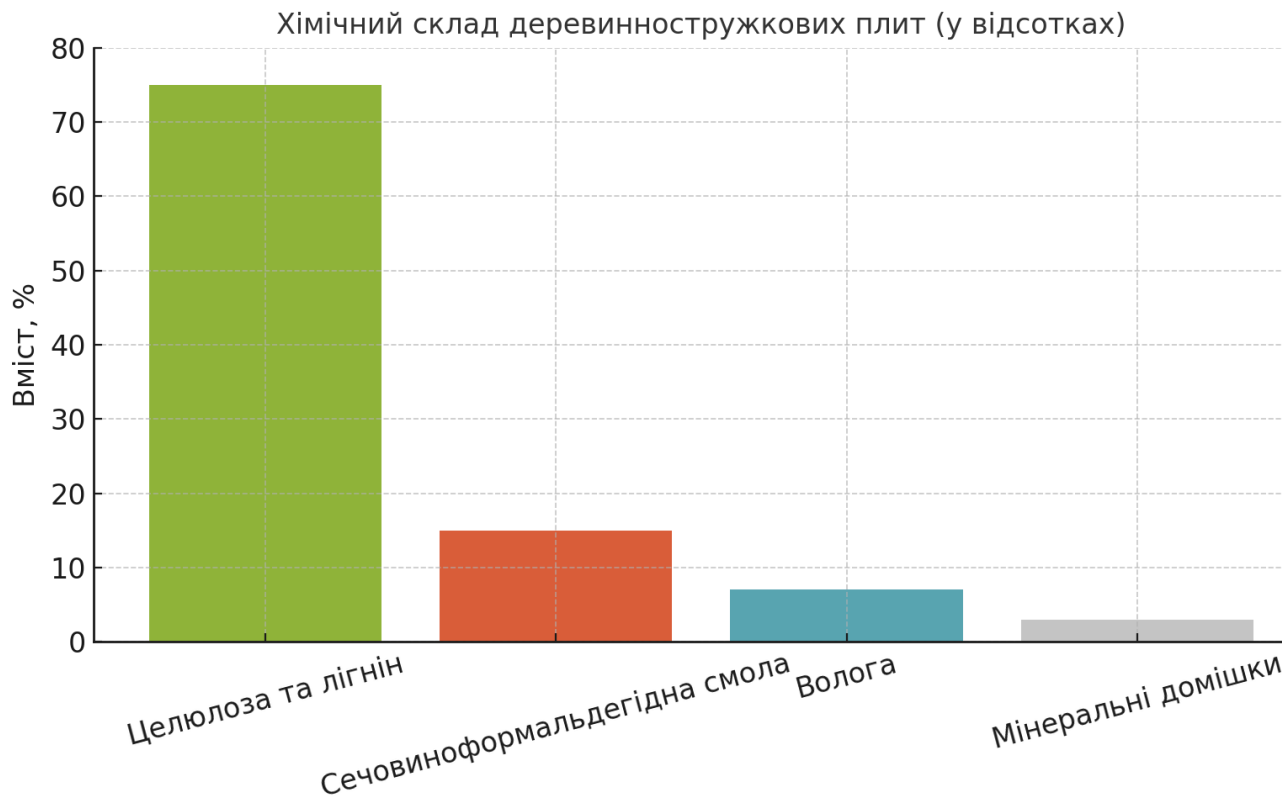


Рис.2. Структура відходів ДСП

2.2.1 Хімічний склад відходів ДСП

Основу деревинностружкових плит становлять:

- **деревні компоненти** (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін),
- **зв'язуючі смоли**, переважно сечовиноформальдегідні,
- **волога** (у процесі експлуатації або при зберіганні її вміст зростає),
- **мінеральні домішки** (пігменти, добавки, пил, залишки абразивів).

Таблиця 2.1. Основні компоненти складу відходів ДСП (в середньому):

Компонент	Вміст, % маси
Целюлоза, лігнін, деревна основа	70–75%
Сечовиноформальдегідна смола	10–15%
Волога	5–10%
Мінеральні домішки, пігменти	2–5%

«Хімічний склад деревинностружкових плит (у відсотках)» наочно ілюструє співвідношення основних компонентів у відходах плит.

2.2.2 Фізико-механічні властивості відходів

Відходи ДСП, особливо великі обрізки та браковані деталі, зберігають частину фізико-механічних характеристик початкового матеріалу. Це дозволяє потенційно їх повторно використовувати, зокрема після подрібнення або термічної обробки.

Таблиця 2.1 Основні фізико-механічні параметри:

Показник	Середнє значення	Примітка
Густина	600–750 кг/м ³	Залежить від марки плити
Межа міцності на вигин	10–18 МПа	Знижується з часом експлуатації
Вологість (в умовах зберігання)	8–12%	Може бути вищою у вуличних умовах
Температура займання	близько 250°C	Високий ризик займання
Вміст формальдегіду	0,1–0,3 мг/м ³	Клас емісії залежить від типу смоли
Стійкість до стирання, атмосферного впливу	Низька	Плити не призначені для тривалого вуличного використання

2.2.3 Екологічні аспекти складу

- **Формальдегід**, що входить до складу зв'язуючих смол, є канцерогеном 1 групи (за класифікацією ВООЗ).
- У процесі експлуатації або зберігання старих ДСП можлива вторинна емісія газоподібного формальдегіду в повітря.
- При спалюванні відходів без належної температури відбувається утворення токсичних продуктів — формаліну, фенолу, оксидів азоту.

1.3. Класифікація відходів ДСП за рівнем забрудненості

Для ефективного поводження з відходами деревинностружкових плит (ДСП) важливо їх попередньо класифікувати за ступенем забруднення та потенційної небезпеки. Це дозволяє визначити подальший шлях утилізації або

рециклінгу: повторне використання, подрібнення для виготовлення нових плит, спалювання з рекуперацією тепла чи поховання.

Загалом, відходи ДСП можна умовно розділити на чотири основні категорії:

2.3.1 Класифікаційні групи

Таблиця 2.3 Результати аналізу категорій [12]

Категорія	Походження	Опис	Приклади	Рівень забрудненості
1. Нові (чисті)	Виробничі обрізки, залишки розкрою	Мають первинну якість, не містять домішок, часто без покриття	Обрізки з фабрик, зразки плит	Низький
2. Ламіновані	Оздоблені поверхні (ламінат, ПВХ, фольга)	Покриті декором, складніші для переробки через багат шарову структуру	Деталі меблів, двері, полиці	Середній–високий
3. Експлуатовані	Списана продукція з побуту чи офісів	Можуть мати забруднення, механічні пошкодження, зношення	Старі меблі, шафи, столи	Високий
4. Забруднені/корміновані	Плити з домішками, покриттям, фурнітурою	Містять сторонні матеріали: метал, скло, пластик, клей, текстиль	Вітрини, офісні перегородки, монтажні елементи	Дуже високий

2.3.2 Характеристика груп забрудненості

Нові (чисті) відходи:

- Найпридатніші для повторного використання або гранулювання.

- Можуть без додаткової підготовки використовуватись для виробництва нових плит.

Ламіновані відходи:

- Покриття часто створює труднощі при подрібненні, бо воно знижує однорідність фракції.

- Вимагають попереднього зняття декоративного шару або подрібнення з подальшим відсівом.

Експлуатовані відходи:

- Мають ризик біологічного забруднення (пліснява, грибок), побутових домішок.

- Емітуючи формальдегід, вони підлягають або ізоляції, або безпечному спалюванню при високих температурах.

Забруднені (комбіновані):

- Найпроблемніші. Часто містять елементи металевої фурнітури, клейових з'єднань, пластиків, текстилю.

- Для рециклінгу потребують складної лінії попереднього сортування та сепарації.

1.3.3 Висновки щодо класифікації

- **Класифікація за рівнем забруднення** — ключовий етап перед будь-якою спробою переробки чи утилізації.

- Найперспективнішими з точки зору рециклінгу є **чисті виробничі залишки**.

- **Експлуатовані та комбіновані** відходи потребують додаткових витрат на обробку, а іноді — технічної неможливості повторного використання.

2.4. Екологічна небезпека несортованих і неконтрольованих відходів

Несортовані та неконтрольовані відходи деревинностружкових плит (ДСП) становлять серйозну загрозу для довкілля та здоров'я людини. Причина полягає у складі матеріалу, особливо у вмісті синтетичних смол і домішок, які

не розкладаються природним чином, а в процесі деградації або спалювання виділяють шкідливі речовини.

2.4.1 Токсичність викидів при неконтрольованому спалюванні

Сечовиноформальдегідні смоли, які використовуються як зв'язуюче у ДСП, містять формальдегід — токсичну, канцерогенну речовину. Під час згоряння плит у побутових умовах або на нелегальних звалищах:

- Вивільняється **формальдегід, фенол, оксиди азоту, діоксини**.
- Ці речовини потрапляють в атмосферу, створюючи ризики для органів дихання, нервової системи, та спричиняючи алергії.

Формальдегід входить до списку канцерогенів групи 1 за класифікацією ВООЗ.

2.4.2 Забруднення ґрунтів і водного середовища

При захороненні плит у загальних звалищах або в несанкціонованих місцях:

- Відбувається **вимивання смол і домішок** під дією опадів.
- Забруднюються ґрунтові води, що може призвести до порушення балансу водних екосистем і потрапляння токсинів у джерела питної води.

2.4.3 Біологічна стійкість та об'ємне навантаження на полігони

Відходи ДСП:

- **Мають дуже низьку біодеградацію**, тобто зберігаються в середовищі десятиліттями.
- Займають значний об'єм на полігонах через тверду структуру, що ускладнює компактування.
- Створюють **тривале навантаження на полігони**, зменшуючи їхній строк експлуатації.

2.4.4 Побутова небезпека при повторному використанні

Іноді старі плити використовуються вдруге (наприклад, на дачах, складах, в господарстві) без належної обробки. Це також несе загрозу:

- Плити можуть продовжувати **випаровувати формальдегід** навіть через роки після виготовлення.
- Особливо небезпечні вони в **погано вентильованих приміщеннях** або поблизу джерел тепла.

У результаті аналізу особливостей утворення, складу та класифікації відходів деревинностружкових плит (ДСП), можна зробити наступні висновки:

1. **Основні джерела утворення відходів ДСП** — це виробничі залишки (обрізки, брак), а також побутові та комерційні відходи, пов'язані з експлуатацією меблів, конструкцій і оздоблювальних матеріалів на основі ДСП. Найбільше відходів утворюється на етапах меблевого виробництва та після завершення життєвого циклу продукції.

2. **Хімічний склад відходів ДСП** характеризується вмістом деревних частинок, синтетичних смол (здебільшого сечовиноформальдегідних), а також домішками у вигляді покриттів, лакофарбових матеріалів і фурнітури. Це створює певні технологічні труднощі при утилізації та рециклінгу таких відходів.

3. **Фізико-механічні характеристики** відходів, такі як щільність, вологість, міцність на вигин, мають значення для визначення доцільності та методу повторного використання. Найбільш придатними до рециклінгу є нові (виробничі) залишки плит.

4. **Класифікація відходів ДСП** за ступенем забруднення дозволяє раціонально підійти до вибору способу їх подальшої утилізації. Відходи поділяються на нові (чисті), ламіновані, експлуатовані та комбіновані. Чим вищий рівень забруднення, тим складніша і дорожча переробка.

5. **Несортовані та неконтрольовані відходи ДСП** є джерелом екологічної небезпеки: при спалюванні вони виділяють токсичні сполуки, при захороненні — забруднюють ґрунти та воду. Крім того, низька біодеградація таких відходів створює додаткове навантаження на полігони.

Таким чином, ефективне управління потоком відходів ДСП потребує впровадження системи сортування, оцінки їхнього складу і ступеня забрудненості, а також вибору оптимальної стратегії утилізації або рециклінгу, що дозволить зменшити їхній негативний вплив на довкілля, зокрема, на водне середовище.

2.5. Результати розрахунків стічних вод підприємства з виробництва ЛСП

Тип виробництва: Середньої потужності деревообробне підприємство — виробництво фанери, ДСП.

Місцезнаходження: Центральна Україна

Кількість працівників: ~150 осіб

Обсяг водоспоживання: ~50 м³/добу

Обсяг стічних вод: ~35 м³/добу

Аналіз складу виробничих стічних вод

Джерела забруднення:

1. Мийка деревини та обладнання
2. Охолоджувальні води
3. Клейові цехи (формальдегід, феноли, смоли)
4. Фарбування, лакування (органічні розчинники)
5. Побутові стоки (змішуються на етапі каналізації)

Таблиця 2.4 Основні забруднювачі стічних вод:

Показник	Середній рівень
Завислі речовини	200–300 мг/л
ХСК (хім. споживання кисню)	800–1200 мгО ₂ /л
БСК (біохім. споживання)	300–500 мгО ₂ /л
Формальдегід	5–10 мг/л
Фенол	0,5–1,5 мг/л
Склепи клеїв/смол	до 5 мг/л

РН	6.5–8.5
Нафтопродукти	2–3 мг/л

Технологічна схема очищення стічних вод виробництв плитних матеріалів

I. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ

1.1. Приймальна камера (усереднення потоку)

Призначення: вирівнювання концентрації забруднень та дебіту стоків.

Процеси: зниження пікових навантажень на подальше обладнання.

1.2. Решітки грубої очистки (10–20 мм)

Призначення: вилучення великих включень: тріски, шматки деревини, фрагменти плівок, текстилю.

Обладнання: ручні або механізовані решітки.

1.3. Дрібні решітки або барабанні сита (1–5 мм)

Призначення: затримання дрібних часток, стружки, волокон.

1.4. Пісколовки (горизонтальні або аеровані)

Призначення: осадження мінеральних часток (пісок, глина, абразив).

Результат: попередження абразивного зносу насосів.

1.5. Первинні відстійники

Призначення: гравітаційне осадження завислих часток.

Параметри: 1–3 год осадження, ефективність видалення зважених речовин — до 60%.

II. ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ

2.1. Реактор змішування (коагулятор)

Призначення: введення хімічних реагентів з інтенсивним перемішуванням.

Додаються:

- Коагулянти: *сульфат алюмінію, хлорид заліза, поліалюмінійхлорид.*
- Флокулянти: *аніонні та катіонні поліелектроліти.*

2.2. Регулювання рН

Для оптимізації осадження смол, клеїв та фенолів.

- Оптимальний діапазон: рН = 6.0–7.5
- Реагенти: вапняне молоко, сода, кислоти.

2.3. Камера флокуляції

Призначення: формування великих пластівців, придатних до осадження або флотації.

2.4. Флотаційна установка (DAF — розчинна напірна флотація)

Призначення: видалення легких органічних домішок:

- смоли, клеї, ПВА, формальдегідні сполуки, частина фенолів.

Результат: зменшення ХСК на 40–60%.

2.5. Хімічні відстійники

Призначення: осадження флокул.

Осад: передається на ущільнення та зневоднення.

ІІІ. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ

3.1. Аеротенки (нитрифікаційно-денітрифікаційні або класичні)

Процеси:

- біодеструкція фенольних сполук;
- окиснення органіки (БСК, ХСК);
- часткова мінералізація формальдегіду;
- пригнічення токсичності стоків.

Параметри:

- час перебування: 6–12 год
- концентрація активного мулу: 2.5–4 г/л
- аератори: дискові, трубчасті або турбінні.

3.2. Вторинні відстійники

Призначення: осадження активного мулу після аеротенків. **Потоки:**

- частина мулу → рециркуляція;
- надлишковий мул → зневоднення (фільтр-прес, центрифуга).

3.3. Нітрифікація/денітрифікація (за потреби)

Призначення: видалення азоту, якщо присутні смоли та органіка азотного походження.

ІV. ФІНАЛЬНЕ ДООЧИЩЕННЯ

4.1. Піщані фільтри

Призначення: видалення залишкових завислих часток після біологічної очистки.

4.2. Вугільні або багат шарові фільтри

Призначення:

- поглинання залишкових фенолів;
- видалення кольоровості;
- адсорбція формальдегіду, смол та ЛОС.

4.3. Сорбційні колони з активованим вугіллям

Адсорбуються:

- формальдегід,
- ФЛС,
- ароматичні сполуки,
- низькомолекулярні залишки клеїв.

4.4. УФ-дезінфекція

Призначення: знезараження очищених стоків перед скиданням.

Альтернатива: хлорування або натрій гіпохлорит.

4.5. Контрольна камера (стабілізація)

Вимірюють: рН, БСК, ХСК, завислі речовини, фенол, формальдегід.

Узагальнений маршрут стічних вод

Стічні води → Механічне очищення → Фізико-хімічна обробка → Біологічне очищення → Доочищення → Дезінфекція → Скид у водойму або повторне використання

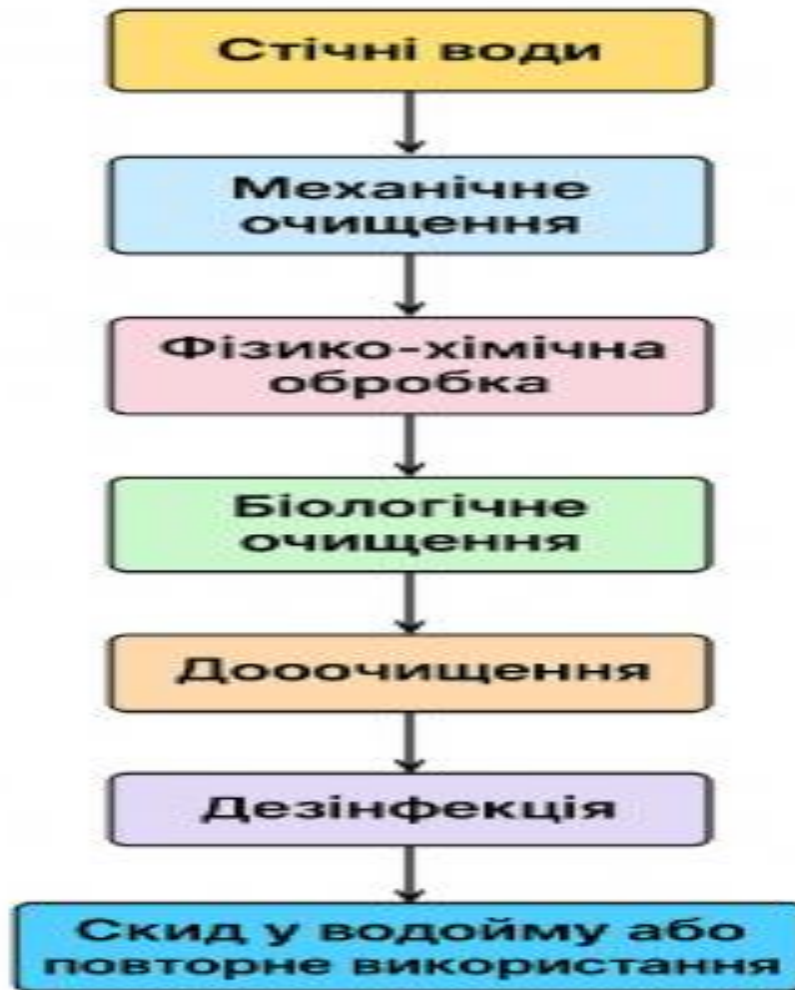


Рис.5. Етапи переміщення стічних вод



Рис.6 Етапи очищення стічних вод

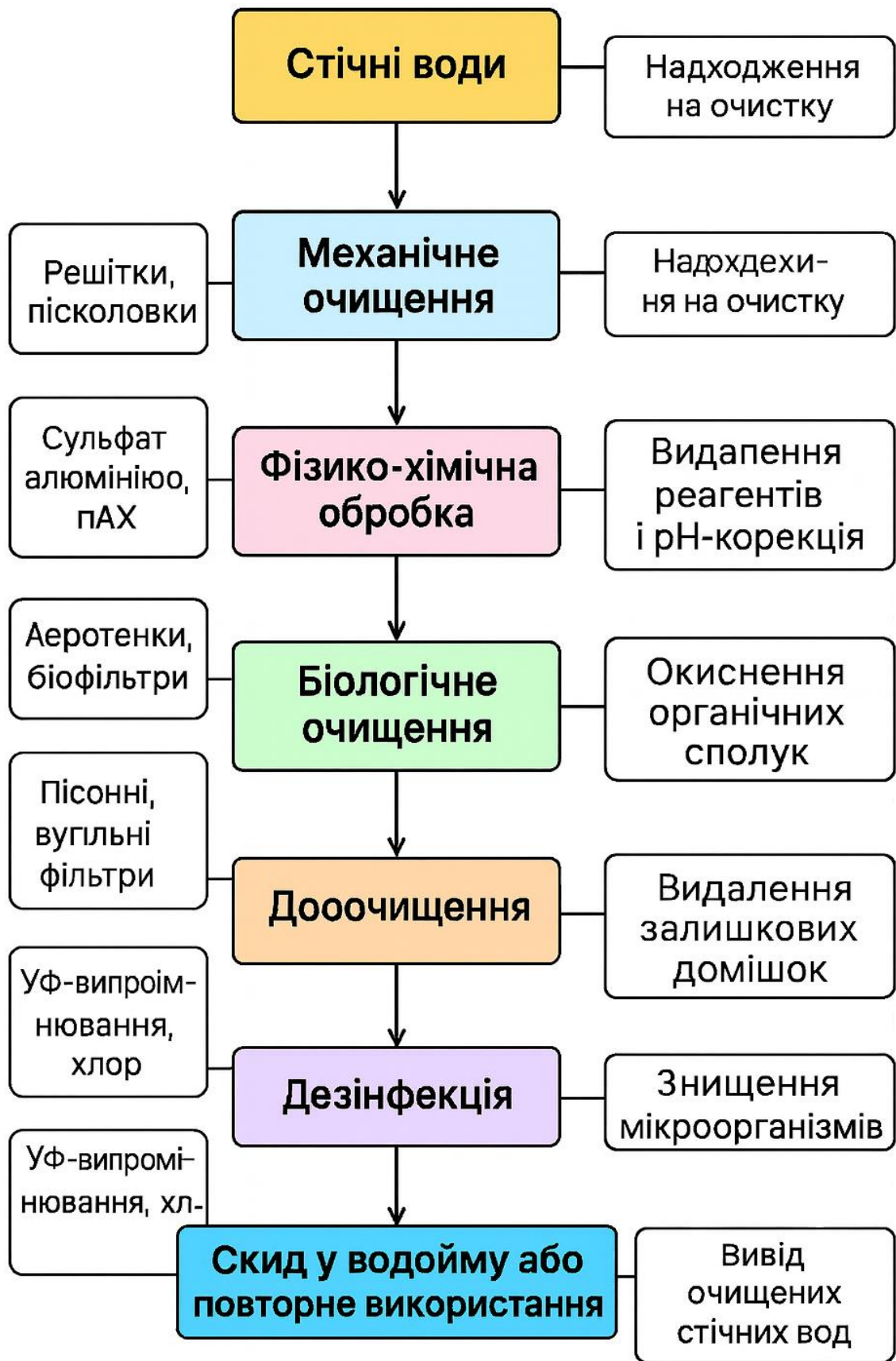


Рис.7. Технологічні особливості поетапного очищення стічних вод

Таблиця 2.8. Очікувана ефективність очищення

Показник	До очищення	Після очищення
Завислі речовини	250 мг/л	<30 мг/л
ХСК	1000 мгО ₂ /л	<80 мгО ₂ /л
БСК	400 мгО ₂ /л	<30 мгО ₂ /л
Формальдегід	8 мг/л	<0,5 мг/л
Фенол	1 мг/л	<0,1 мг/л

Варіанти повторного використання очищених стоків

- Підтехнічні потреби (миття підлоги, охолодження верстатів)
- Полив зелених зон (після доочищення)
- Подальше скидання у міську каналізацію або поверхневі води (за умови дотримання ГДС)

Висновок

Очищення виробничих стічних вод на деревообробному підприємстві потребує поєднання **механічного, фізико-хімічного та біологічного** етапів. При правильному проєктуванні локальних очисних споруд (ЛОС) підприємство може **досягти відповідності нормативам ГДС та частково зменшити витрати на водопостачання** шляхом повторного використання очищених вод.

Типова схема очисних споруд стічних вод:

- 1. Прихідна камера (решітки)**
 - Видалення великих забруднень (пластик, гілки, каміння).
- 2. Пісколовка**
 - Осідання піску, важких часток.
- 3. Відстійник первинний**
 - Відстоювання крупних часток, органічних відкладень.
- 4. Біологічне очищення**

- Аеробні або анаеробні процеси розкладання органіки мікроорганізмами (аеротенки, біофільтри).

5. **Відстійник вторинний**

- Відокремлення біомаси від очищеної води.

6. **Дезінфекція**

- Обробка води хлором, ультрафіолетом або озоном.

Технологічна схема очищення води

[Вхід стічних вод]



Решітки | ← Видалення великих забруднень



Пісколовка | ← Осідання піску і важких часток



Первинний відстійник | ← Відстійник для великих часток



Біологічне очищення | ← Аеробне очищення (аеротенки)



Вторинний відстійник | ← Відстійник для біомаси



Дезінфекція | ← УФ або хлорування



[Очищена вода у водойму]

РОЗДІЛ 3. ПРЕКТНІ РІШЕННЯ ЩОДО ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД ДАНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Постановка задачі

1. Мийка та обробка деревини

- Під час мийки пиломатеріалів у воду потрапляють частки кори, деревної пилюки, смоли, а також розчинені органічні речовини (цукри, таніни).
- Вода забруднюється механічними домішками (тирса, опилки, стружка).

2. Пиловловлення

- Пил із дерева, що осідає на обладнанні або у повітрі, у процесі очищення обладнання може потрапляти до стічних вод.
- У воді присутні дрібні частинки деревини, що знижують прозорість та спричиняють осад.

3. Обробка поверхні

- В разі нанесення антисептиків, протигрибкових засобів, фарб чи лаків на деревину – у стічні води потрапляють хімічні речовини (розчинники, плівкоутворювачі, важкі метали).
- Це створює токсичне навантаження на водні екосистеми.

4. Промивання виробничого обладнання

- Вода, що використовується для промивання пилорам, станків, конвеєрів, містить забруднення у вигляді дрібних частинок деревини, пилу, мастил.
- Потрапляють також залишки технологічних мастил і змащувальних матеріалів.

5. Змив з виробничих майданчиків

- Під час дощів або миття території зі складів пиломатеріалів та тирси, у воду потрапляють механічні домішки, органічні залишки.
- Можливе забруднення від мастил, палива або інших виробничих рідин, що пролилися.

6. Відходи деревообробки

- Тирса, стружка, кора, які можуть потрапляти у воду при збиранні і транспортуванні відходів.
- Органічне навантаження підвищує біохімічне споживання кисню (БСК).

Основні типи забруднень у стічних водах лісопильно-розкрійного виробництва:

- **Механічні домішки:** тирса, стружка, пил, кора.
- **Органічні речовини:** розчинені речовини, що підвищують БСК і ХСК (хімічне споживання кисню).
- **Хімічні забруднювачі:** розчинники, фарби, антисептики, мастила.
- **Можливі токсичні речовини:** важкі метали (наприклад, з барвників або захисних засобів).

3.2 Розрахунок очисних споруд для підприємства

Вихідні дані:

- Обсяг стічних вод: $Q = 100 \text{ м}^3/\text{добу}$
- Вхідне забруднення:
 - Зважені речовини (ЗР): 200 мг/л
 - Біохімічне споживання кисню (БСК₅): 250 мг/л
 - Хімічне споживання кисню (ХСК): 400 мг/л
- Вимоги очищення: ЗР до 50 мг/л, БСК₅ до 20 мг/л.

1. Механічне очищення (решітки + пісколовка)

- Решітки для видалення великих домішок.
- Пісколовка для видалення піску і важких домішок.

2. Відстійник первинний

Розрахунок часу відстоювання (t) для механічних домішок:

- Рекомендований час відстоювання: 2-3 години.

Об'єм відстійника:

$$V=Q \times t=100 \text{ м}^3/\text{добу} \times 324 \text{ доби}=12,5 \text{ м}^3$$

3. Біологічне очищення (аеротенк)

- Розрахунок об'єму аеротенка за формулою:

$$V = \frac{Q \times BOD_5(\text{вхід})}{SRT \times (BOD_5(\text{вхід}) - BOD_5(\text{вихід}))}$$

де:

- SRT – час перебування активного мулу, зазвичай 5-10 діб, беремо 6 діб;
- $BOD_5(\text{вхід}) = 250 \text{ мг/л} = 0,25 \text{ кг/м}^3$;
- $BOD_5(\text{вихід}) = 20 \text{ мг/л} = 0,02 \text{ кг/м}^3$.

Підставимо:

$$V = \frac{100 \times 0,25}{6 \times (0,25 - 0,02)} = \frac{25}{0,23} = \frac{25}{1,38} \approx 18,1 \text{ м}^3$$

Для аеробного очищення стічних вод:

- Розрахунок об'єму аеротенка за формулою:

$$V = Q \times BOD_5(\text{вхід}) \times SRT \times (BOD_5(\text{вхід}) - BOD_5(\text{вихід}))$$

де:

- SRT – час перебування активного мулу, зазвичай 5-10 діб, беремо 6 діб;
- $BOD_5(\text{вхід}) = 250 \text{ мг/л} = 0,25 \text{ кг/м}^3$
- $BOD_5(\text{вихід}) = 20 \text{ мг/л} = 0,02 \text{ кг/м}^3$

Підставимо:

$$V = 100 \times 0,256 \times (0,25 - 0,02) = 256 \times 0,23 = 251,38 \approx 18,1 \text{ м}^3$$

4. Вторинний відстійник

Час відстоювання 2-3 години:

$$V = 100 \times 3/24 = 12,5 \text{ м}^3$$

5. Дезінфекція

Об'єм камери дезінфекції розраховується за часом контакту ($t = 30 \text{ хв} = 0,5 \text{ години}$):

$$V = Q \times t = 100 \times 0,5/24 = 2,08 \text{ м}^3$$

3.3. Підбір обладнання

Таблиця 3.1 Технічні характеристики обладнання:

Етап	Об'єм, м ³	Примітки
Первинний відстійник	12,5	3 години відстоювання
Аеротенк	18,1	Біологічне очищення
Вторинний відстійник	12,5	3 години відстоювання
Камера дезінфекції	2,1	30 хв контактний час

Вихідні дані

- Обсяг стічних вод: $Q = 100 \text{ м}^3/\text{добу}$
- Склад забруднень (середні концентрації):

Таблиця 3.2 Характеристика вхідних параметрів

Показник	Концентрація вхідна, мг/л
Зважені речовини (ЗР)	200
Біохімічне споживання кисню (БСК ₅)	250
Хімічне споживання кисню (ХСК)	400
Азот амонійний (NH ₄ ⁺ -N)	20
Фосфор загальний (P)	5

Таблиця 3.3 Вимоги до очищення (максимально допустимі концентрації у скиданні):

Показник	Концентрація вихідна, мг/л
ЗР	50
БСК ₅	20
ХСК	50
Азот амонійний	10
Фосфор загальний	1

3.4 Етапи очищення та докладні розрахунки

Механічне очищення

Решітки

- Для видалення великих часток (деревина, кора, палети).

Пісколовка

- Розрахунок часу перебування для осадження піску:

T пісколовки=1–2 хвилини

Об'єм пісколовки:

$$V_{\text{піск}}=Q \times t=100 \text{ м}^3/\text{добу} \times 260 \times 24 \approx 0,14 \text{ м}^3$$

2.2. Первинний відстійник (для механічного відстоювання зважених речовин)

- Час відстоювання (t) — 2-3 години (беремо 3 години для більш ефективного осадження).

Об'єм:

$$V_{\text{відст}}=Q \times t=100 \times 3/24=12,5 \text{ м}^3$$

- Очікуване зниження ЗР: 50-70%
- Очікуване зниження БСК₅: 25-35%

2.3. Біологічне очищення (аеротенк)

Розрахунок об'єму аеротенка:

Для деревної промисловості часто використовують:

- Час перебування (HRT) 6-8 годин (0,25-0,33 доби).
- Концентрація активного мулу (MLSS) 3000-4000 мг/л.

Беремо 8 годин:

$$V_{\text{аеротенк}} = Q \times HRT = 100 \times \frac{8}{24} = 33,3 \text{ м}^3$$

Для деревної промисловості часто використовують:

- Час перебування (HRT) 6-8 годин (0,25-0,33 доби).
- Концентрація активного мулу (MLSS) 3000-4000 мг/л.

Беремо 8 годин:

$$V_{\text{аеротенк}}=Q \times HRT=100 \times 8/24=33,3 \text{ м}^3$$

Перевірка за БСК₅:

Зменшення БСК₅ з 250 до 20 мг/л означає очищення на 92%.

Об'єм можна уточнити за формулою:

$$V=Q \times \text{BOD}_5(\text{вхід}) / k \times X$$

де:

- К - коефіцієнт швидкості очищення (приблизно 0.1-0.2 1/год),
- X - концентрація активного мулу (3-4 кг/м³).

Підставимо:

$$V = \frac{100 \times 0,25}{0,15 \times 3} = \frac{25}{0,45} \approx 55,5 \text{ м}^3$$

Отже, для більш надійної роботи рекомендуємо об'єм аеротенка близько **50-55 м³**.

Вторинний відстійник (для відокремлення активного мулу)

- Час відстоювання: 2-3 години (беремо 3 години).

Об'єм:

$$V_{\text{відст}} = 100 \times \frac{3}{24} = 12,5 \text{ м}^3$$

Хімічне очищення (флокуляція, коагуляція) — опціонально

- Для зниження фосфору застосовують коагулянти (солі алюмінію або заліза).

- Об'єм реактора: приблизно 5-7% від об'єму аеротенка.

Дезінфекція (ультрафіолетова установка або хлорування)

- Час контакту: 30 хвилин.

Об'єм:

$$V_{\text{дез}} = 100 \times \frac{0,5}{24} = 2,1 \text{ м}^3$$

Таблиця 3.5 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

Етап	Об'єм, м ³	Коментарі
Пісколовка	0,14	Короткий час перебування
Первинний відстійник	12,5	3 години відстоювання
Аеротенк	50-55	Біологічне очищення
Вторинний відстійник	12,5	3 години відстоювання
Флокуляційний реактор	3-4	Для коагуляції та флокуляції (опц.)
Дезінфекція	2,1	УФ-установка або камера хлорування

Підбір конкретного обладнання

1.1. ПІСКОЛОВКА

- Об'єм: 0,14 м³
- Рекомендації: Компактна пісколовка типу **AquaTech Grit Classifier**

або **Evoqua Hydro Grit Removal System**.

- Продуктивність: до 200 м³/добу (для резерву).
- Матеріал: нержавіюча сталь або поліпропілен.

1.2. ПЕРВИННИЙ ВІДСТІЙНИК

- Об'єм: 12,5 м³
- Тип: горизонтальний відстійник з механічним скребком.
- Приклад моделі: **Krüger Lamella Clarifier** (компактний ламельний

відстійник для збільшення ефективності).

- Діаметр або габарити: приблизно 3–4 м в діаметрі, глибина 2–3 м.

1.3. АЕРОТЕНК

- Об'єм: 50-55 м³
- Тип аератора: дифузорні мембранні аератори з низьким енергоспоживанням.

- Приклад: **Fine Bubble Diffuser** від **Ingersoll Rand** (рис.6)

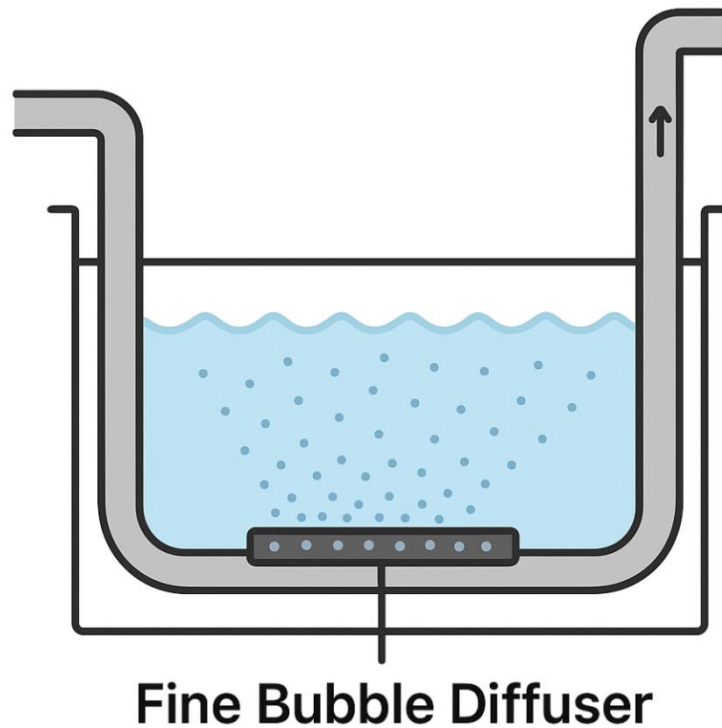


Рис. 10 Аеротенк з дрібно-пухирчастим аератором

3.5. Опис роботи аеротенка з дрібно-пухирчастим аератором (fine bubble diffuser від ingersoll rand):

Принцип роботи аеротенка з дрібно-пухирчастою аерацією

Аеротенк — це біологічний реактор, у якому стічні води змішуються з **активним мулом** та інтенсивно насичуються повітрям. Основна мета — **біологічне окиснення органічних забруднень**, зниження БСК, ХСК, видалення азот- та феноловмісних сполук.

1. Подача повітря

На дні аеротенка встановлені **дрібнопухирчасті дифузори Fine Bubble Diffuser**. Компресор подає повітря у повітряну магістраль → воно надходить до кожного дифузора → через еластичну мембрану виходить у вигляді **дуже дрібних бульбашок (1–3 мм)**.

2. Утворення дрібних бульбашок

Дифузор створює численні дрібні бульбашки, які:

- повільно підіймаються,
- мають **велику сумарну площу поверхні**,
- забезпечують **високе розчинення кисню** у воді (ККД 30–40% вище, ніж у крупнопухирчастих системах).

Це дозволяє підтримувати **концентрацію розчиненого кисню 1.5–3.0 мг/л**, необхідну для аеробних бактерій.

3. Біохімічні процеси в муловій суміші

У зоні аерації відбувається:

- окиснення органіки (COD/BOD),
- біодеструкція фенолів та смолистих компонентів,
- нітрифікація ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$),
- часткове видалення ПАР та летких органічних речовин.

Аеробні мікроорганізми активно розмножуються та утворюють **пластівці активного мулу**.

4. Підтримання перемішування

Дрібні бульбашки створюють **вертикальні потоки**, які рівномірно перемішують мулову суміш, запобігаючи:

- застійним зонам,
- відкладанню мулу на дні,
- появі анаеробних ділянок, що погіршують очищення.

5. Відведення суміші та повернення мулу

Після аерації мулова суміш подається у **вторинний відстійник**, де відбувається:

- осадження мулу,
- повернення частини осаду назад в аеротенк (рециркуляція),
- відведення надлишкового мулу.

Переваги Fine Bubble Diffuser у аеротенку

Висока ефективність насичення киснем
Енергозбереження (менша потужність компресорів)
Рівномірний розподіл повітря
Довгий термін служби мембран
Тихий режим роботи та мінімальні режими сервісу

- Підбір компресора:
- Розрахунок подачі кисню (O₂):

Для деревних стічних вод приблизно 1 кг O₂ на м³ очищення.

- $$O_2 = Q \times C_{BOD_5} \times \text{коефіцієнт} = 100 \times 0.25 \times 1.2 = 30 \text{ кг/добу}$$
- Компресор подає близько 1.5-2 кг O₂/год
- Потужність компресора: приблизно 2-3 кВт.

1.4. ВТОРИННИЙ ВІДСТІЙНИК

- Об'єм: 12,5 м³
- Аналогічний до первинного, можливо з можливістю регенерації активного мулу.
- Модель: як і для первинного відстійника, можна розглянути **Krüger** або **Flottweg**.

1.5. ФЛОКУЛЯЦІЙНИЙ РЕАКТОР (ЗА ПОТРЕБИ)

- Об'єм: 3-4 м³
- Обладнання: мішалки низької швидкості з розподільчим дозуванням коагулянту.
- Приклад: **PAH** або **Polymix** мішалки.

1.6. ДЕЗІНФЕКЦІЯ (УФ-УСТАНОВКА)

- Об'єм камери: 2,1 м³
- Приклад: **TrojanUVSigna** або **Wedeco S 150**.
- Продуктивність: 100 м³/добу
- Потужність ламп: 2-3 кВт
- Переваги: безхімічна обробка, безпечна для екології.

1.7. НАСОСИ

- Для подачі стічної води і мулу.

- Тип: центробіжні насоси з нержавіючої сталі.
- Потужність: 1-3 кВт в залежності від висоти підйому і продуктивності.
- Приклад: **Grundfos, KSB, Flygt.**

2. Технологічна схема очищення стічних вод

Вхід стічних вод



Решітки (AquaTech)



Пісколовка (Evoqua)



Первинний відстійник (Krüger Lamella)



Аеротенк з мембранними дифузорами (Ingersoll Rand)



Вторинний відстійник (Krüger)



Флокуляційний реактор (PAX) [за потреби]



Дезінфекція УФ-лампами (TrojanUVSigna)



Скидання очищеної води

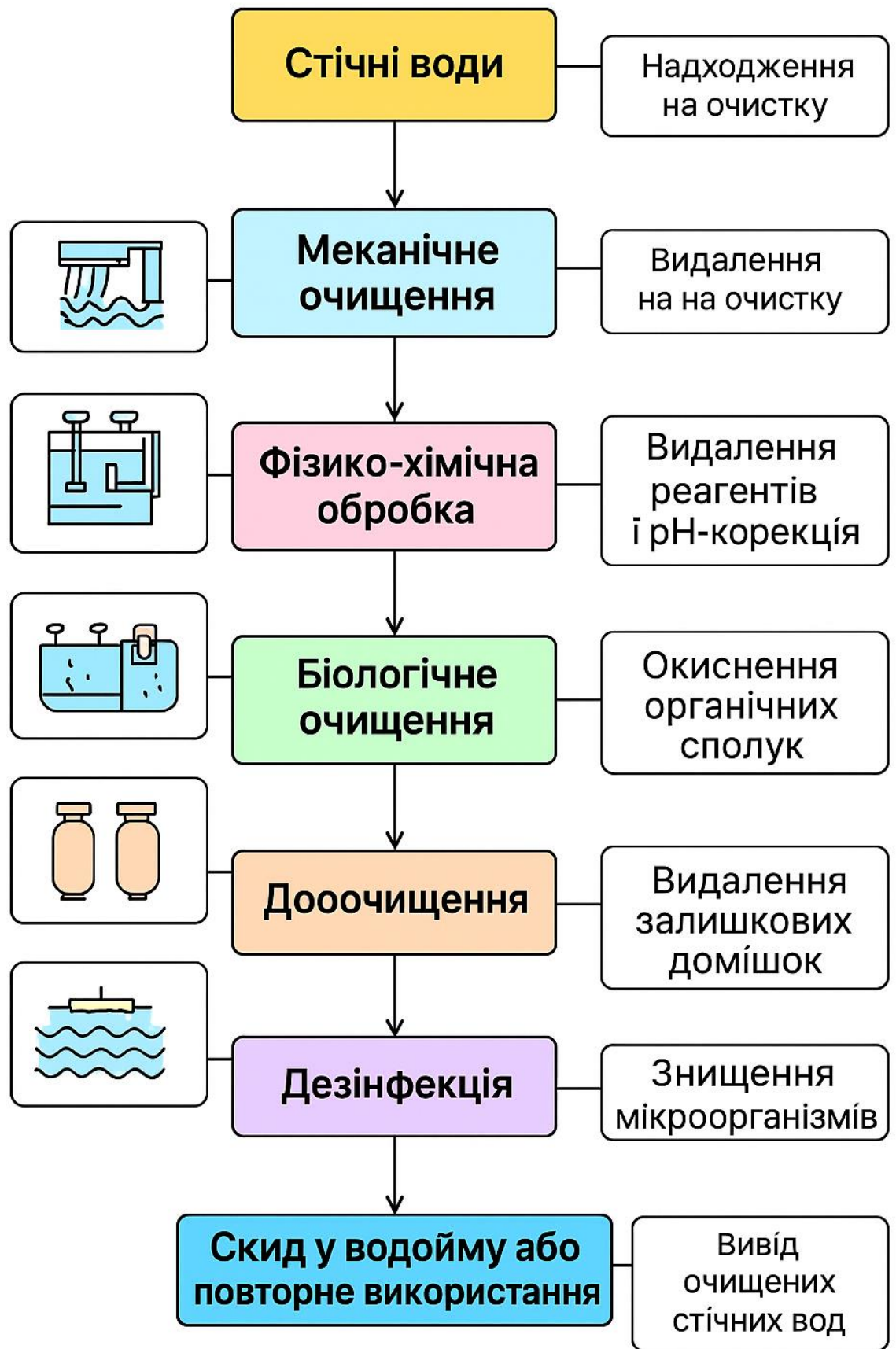


Рис.10 Оновлена схема очищення

Рекомендації

- Для зменшення БСК і ХСК до нормативів потрібне ефективне біологічне очищення з підтримкою концентрації активного мулу.
- Контроль рН, температури та аерації - важливі параметри для роботи аеротенка.
- Обладнання повинне мати можливість обслуговування мулу (видалення надлишкового активного мулу).
- Для зниження вмісту фосфору слід застосовувати коагулянти.

РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Розробка удосконаленої технології

Запропонована модернізована схема

Решітки → Пісколовка → Коагуляція/Флокуляція → DAF-флотатор → Фільтр тонкого очищення → Біофільтр MBBR → Сорбційний блок → MBR → Скидання

Основні інновації:

- введення блоку **DAF-флотації** (98% TSS);
- застосування біореактора **MBBR** із заповнювачем K5;
- **сорбційний модуль** з активованим вугіллям;
- **мембранний біореактор** на завершальному етапі.

4.2. Обґрунтування вибору методів

Переваги:

- MBBR менш чутливий до токсинів;
- сорбція забезпечує видалення фенолів та формальдегіду;
- MBR дає стабільну якість стоку незалежно від коливань навантаження.

4.3. Розрахунок параметрів обладнання

1. Коагуляція

Доза коагулянту PAC: $D = 0.7 \cdot COD_{\text{вх}} = 0.7 \cdot 3000 = 2100 \text{ мг/л}$

2. Біореактор MBBR

Площа носія K5:
$$A = Q \cdot \frac{COD}{k} = 120 \cdot \frac{3000}{25} = 14\,400 \text{ м}^2$$

(при заповненні 40% → необхідно 20 м³ носія)

3. Сорбційна колона

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ год}$$

Формула часу контакту:

4.4. Експериментальна перевірка (модельні дослід)

Тестові дані (лабораторна модель):

Етап очищення COD, мг/л Феноли, мг/л

Вихідна вода	3000	4.6
Після DAF	1800	3.8
Після MBBR	700	0.9
Після сорбції	140	0.12
Після MBR	40	0.03

4.5. Порівняльний аналіз «до і після»

Таблиця 4.5.1. Результати очищення

Показник	Було	Стало	Ефективність
COD	3000	40	98.7%
BOD ₅	1200	8	99.3%
Феноли	4.6	0.03	99.3%
TSS	800	12	98.5%

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Значення проблеми пилоутворення в практиці очищення стічних вод

Пил, що утворюється при розпилюванні, шліфуванні, фрезеруванні тощо - це втрата сировини, підвищений ризик пожежі/вибуху, погіршення умов праці, підвищення зносу обладнання та забруднення навколишнього середовища.

Таблиця 5.1 Основні джерела пилоутворення і їхній внесок (типова оцінка)

Джерело	Характер процесу	Тип пилу	Орієнтовна частка в загальному пиловиділенні (%)
Різання дискове, циркулярна пилка	Автоматична/ручна обробка	Крупнозернистий, волокна	20–35
Шліфування (станки та ручне)	Тонка дисперсія	Фінний пил, аерозоль	30–50
Фрезерування, свердління	Волокнисті фракції	Середні фракції	10–20
Зачистка та обробка поверхні	Фіна/волокниста	5–10	
Транспортування, складування	Пил з вивільненням	Різні	5–15

Пояснення з числами (чому це важливо)

Втрата матеріалу: навіть 1–5% пилу від маси необробленої деревини - це реальні грошові втрати.

Вплив на продуктивність: забруднені інструменти і деталі - нижча точність обробки, більше простоїв.

Норми ОП: багато країн мають ПДК (профавідісний рівень) на деревний пил (особливо тонкий) - недотримання тягне штрафи і припинення роботи.

2. Вплив пилу на працівників, обладнання та екологію

Таблиця 5. 2 - Впливи та наслідки

Об'єкт впливу	Короткий опис впливу	Наслідок
Працівники (здоров'я)	Інгаляція тонкого пилу, алергени, канцерогенні домішки (клеї, лакофарбові залишки)	Захворювання дихальних шляхів, алергії, хронічні захворювання
Обладнання	Засмічення вентиляцій, підшипників, електродвигунів	Зростання зносу, аварії, простої
Пожежонебезпека	Накопичення пилу у виробничих приміщеннях і воді	Пожежі та вибухи пилу (вибухонебезпечні суміші)
Навколишнє середовище	Викиди у атмосферу, осад на ґрунти і стічні води	Локальне забруднення, скарги населення, штрафи

3. Обґрунтування необхідності розробки ефективних систем пиловловлювання

Мета системи пиловловлювання: локалізувати джерело пиловиділення, знизити концентрацію пилу в робочій зоні до нормативів, мінімізувати втрати сировини, зменшити ризики пожежі й витрати на технічне обслуговування.

Переваги впровадження

Зниження професійних захворювань → менше витрат на оплату лікарняних та страхування → Економія сировини (менше втраченого пилу) → Зниження ризику аварій і пожеж → Відповідність нормативам → можливість виходу на нові ринки.

Розрахунок викидів в повітря підприємства та їх очищення [15]

Розрахунок виконуємо для столярної майстерні НЛТУ України

Цех обробляє 600 кг деревини на добу.

Припустимо, частка матеріалу, що перетворюється в пил, - 4 % від маси. Потрібно оцінити: а) маса пилу в добу, б) потік повітря, який треба забезпечити, якщо ціль - утримати середню концентрацію пилу в приміщенні

не більш ніж 2 мг/м^3 в) показати приклад розрахунку місцевого відсмоктування і площі фільтра для такого потоку.

Примітка: це приклад з типовими припущеннями; при реальному проектуванні слід використовувати фактичні виміри генерації пилу, габарити обладнання і нормативи України.

Вхідні дані

Обробка деревини: 600 кг/д(добу) .

Фракція, що перетворюється в пил: $4\% = 0.04$.

Цільова концентрація (OEL, орієнтир): $2 \text{ мг/м}^3 = 0.002 \text{ г/м}^3$.

Для локального відсмоктування: рекомендована швидкість захоплення біля місця джерела $\approx 0.5 \text{ м/с}$ (приклад для грубого захоплення пилу; для шліфування часто вища).

Розмір воронки/худа (передня поверхня): 0.1 м^2 .

Кількість станків, що потребують локального відсмоктування: 10.

Для фільтра візьмемо повітропроникність $= 1.5 \text{ м}^3/\text{хв} \cdot \text{м}^2$ (типове проектне значення для розрахунку площі фільтру).

Крок 1. Маса пилу за добу

Маса пилу (кг/день) $= 600 \text{ кг/день} \times 0.04 = 24.0 \text{ кг/день}$.

В грам/добу: $24.0 \text{ кг/день} \times 1000 = 24\,000 \text{ г/день}$.

В грам/годину: $24\,000 \text{ г/день} \div 24 = 1000 \text{ г/год}$.

В грам/секунду: $1000 \text{ г/год} \div 3600 = 0.278 \text{ г/с}$.

Крок 2. Потік повітря, необхідний при гіпотезі розсівання у повітрі (щоб забезпечити середню концентрацію $\leq 2 \text{ мг/м}^3$)

$V = 500\,000.0 \text{ м}^3/\text{год}$

Висновок: щоб утримати середню концентрацію 2 мг/м^3 шляхом загальної вентиляції (тобто розвести весь пил у приміщенні), потрібний повітряний обмін $\approx 500\,000 \text{ м}^3/\text{год}$ - нереалістично великий для стандартного малого цеху. Це демонструє, чому в підприємствах застосовують локальне

відсмоктування біля місця утворення пилу, а не сподіваються на загальну витяжну вентиляцію.

Крок 3. Розрахунок потоків для локального відсмоктування (практичний підхід)

Для 10 станків:

Загальний локальний потік: $180 \times 10 = 1800 \text{ м}^3/\text{год}$.

(цей підхід ілюструє реалістичність: локальне відсмоктування потребує порядок $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$.)

Крок 4. Розмір фільтру

Візьмемо air-to-cloth

Переведемо в $\text{м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$:

$$1.5 \frac{\text{м}^3}{\text{мін} \cdot \text{м}^2} \times 60 = 90 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}^2}$$

Площа фільтру $A \text{ (м}^2\text{)} = \text{загальний повітряний потік} / (\text{air-to-cloth в } \text{м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2\text{)}$:

$$A = 1800 \text{ м}^3/\text{год} \div 90 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}^2} = 20 \text{ м}^2$$

Отже, для локального відсмоктування 10 станків з нашими припущеннями потрібен фільтр (baghouse) з робочою площею фільтрування $\approx 20 \text{ м}^2$.

Таблиця 5.3 Підсумкові числові результати прикладу

Показник	Значення
Обробка деревини	600 kg/д
Частка пилу	4 %
Маса пилу	24.0 kg/д = 24 000 g/д
Масовий викид	1000 g/год $\approx 0.27778 \text{ g/c}$
Необхідний загальний потік для $C \leq 2 \text{ мг/м}^3$	138.8889 $\text{м}^3/\text{с} \approx 500\,000 \text{ м}^3/\text{год}$
Потік на один локальний відсмоктувач (0.1 м^2 , 0.5 м/с)	0.05 $\text{м}^3/\text{с} = 180 \text{ м}^3/\text{год}$
Загальний локальний потік (10 станків)	1800 $\text{м}^3/\text{год}$
Розрахована площа baghouse	20 м^2

Практичні висновки і рекомендації

Основна стратегія - локалізувати джерела пилу місцевою вентиляцією, а не намагатися розбавити пил по всьому приміщенню загальною вентиляцією. Приклад показав, що загальна вентиляція мала б нереалістичні потужності.

Компоненти системи: локальні капюшони, мережа повітроводів, циклон (як предфільтр для грубих фракцій) і основний фільтр (baghouse або рукавний фільтр), вентилятор і система очищення фільтрів.

Проектні параметри: для підбору фільтра (площі фільтру) використовуйте air-to-cloth та фактичний повітряний потік; для сушіння/безпечного зберігання пилу - враховуйте пожежонебезпечність й системи видалення накопичень.

Моніторинг і технічне обслуговування: щоденне очищення робочих місць, перевірка сполучень повітроводів, періодична заміна/очищення фільтрувального елемента, контроль витрат повітря на кожній гілці.

Визначення категорії екологічної безпеки підприємства за масою й складом шкідливих викидів в атмосфері

Теоретичні передумови

Для того, щоб розробити дієві заходи щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів, необхідно знати категорію екологічної безпеки підприємства, цеху чи виробничої дільниці.

Для визначення категорії екологічної безпеки підприємства потрібні дані про викид забруднюваних речовин в атмосферу для формування статистичної звітності 2ТП - повітря. При цьому у формі 2ТП - повітря повітря буде розшифровувати „вуглеводнів” та „інших” і не повинно мати інформацію про сумарні викиди шкідливих речовин в атмосфері від групи підприємств.

Показник категорії екологічної безпеки за формулою:

$$КЕБ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{ГДК_{с.д.}} \right)^{a_i}, \quad (.1)$$

де Q_i - маса викиду i -ої речовини, т/рік; $ГДК_{с.д.}$ - середньодобова гранично допустима концентрація i -ої речовини, мг/м³; n - кількість речовин, що забруднюють атмосферу, які викидаються підприємством; α_i - безрозмірна константа, що дозволяє порівняти ступінь шкідливості i -ої речовини із шкідливістю сірчистого газу (табл.1).

Таблиця 15

Безрозмірна константа у відповідності з класом небезпеки речовини

Константа	Клас небезпеки речовини			
	1	2	3	4
α_i	1,7	1,3	1,0	0,9

Для розрахунку КЕБ за відсутності середньодобових значень ГДК використовують значення максимально разових ГДК, ОБРВ або зменшені в 10 разів значення ГДК робочої зони забруднюваних речовин.

Значення КЕБ для речовин, для яких відсутня інформація про ГДК або ОБРВ, прирівнюють до маси викидів даних речовин. За величиною КЕБ підприємства поділяються на 4 категорії екологічної безпеки. Граничні умови для виділення підприємства за категоріями безпеки наведено в табл. 2.

Таблиця 16

Категорії небезпеки підприємства й граничні значення КЕБ

Категорії безпеки	Значення КЕБ	Санітарно-захисна зона (СЗЗ), м

I	$\geq 10^8$	1000
II	$10 > \text{КЕБ} \geq 10^4$	500
III	$10^4 > \text{КЕБ} \geq 10^3$	300
IV	$< 10^3$	100

Залежно від тієї чи іншої категорії безпеки підприємства здійснюють облік викидів забруднених речовин в атмосферу й запроваджують періодичність контролю за викидами підприємств, а також призначають санітарно-захисні зони від джерел забруднень до житлових районів (СЗЗ).

Важливим при визначенні категорії екологічної безпеки підприємства є розрахунок річних валових викидів шкідливих речовин в атмосферу. При цьому необхідно використати формули (1)...(6).

Порядок визначення категорії екологічної безпеки.

- 1) За формулами (10.1) – (10.6) визначають річні викиди шкідливих речовин в атмосферу з виробничих приміщень;
- 2) Визначають клас небезпеки шкідливих речовин за інгредієнтами;
- 3) За класом небезпеки речовин визначають значення безрозмірної константи α_1 ;
- 4) За санітарними нормами СН 245-71 визначають середньодобову гранично допустиму концентрацію шкідливих речовин;
- 5) За формулою (16.1) і табл. 16.2 визначають категорію екологічної безпеки.

Визначаємо категорію екологічної безпеки підприємства з виготовлення будівельних дерев'яних виробів і конструкцій, якщо відомі річні викиди шкідливих речовин в атмосферу:

— виробничий пил - 0,642 тонн;

- зола – 4,64 тонн;
- оксид вуглецю CO – 21,4 тонн;
- діоксид вуглецю CO₂ – 0,83 тонн;
- діоксид азоту NO₂ – 0.47 тонн.

1) Визначаємо клас небезпеки шкідливих викидів за інгредієнтами

Таблиця.17

Клас небезпеки шкідливих речовин

Назва речовин, які викидаються	ГДК с.д., мг/м ³	Клас небезпеки	Річні викиди шкідливих речовин, т/рік
Виробничий пил	0,15	3	0,642
Зола	0,15	3	4,64
Оксид вуглецю CO	0,05	1	21,6
Діоксид вуглецю CO ₂	3,0	2	0,83
Діоксид азоту NO ₂	0,04	2	0,47

2) Визначаємо безрозмірну константу відповідно з класом небезпеки речовин (табл.5)

Таблиця 18

Значення безрозмірної константи

Константа	Клас небезпеки речовини			
	1	2	3	4
α_i	1,7	1,3	1,0	0,9

3) За формулою (1) визначаємо значення показника категорії екологічної безпеки:

$$KEB = \left(\frac{0,642}{0,15}\right)^{1,0} + \left(\frac{4,64}{0,15}\right)^{1,0} + \left(\frac{21,6}{0,05}\right)^{1,7} + \left(\frac{0,83}{3,0}\right)^{1,3} + \left(\frac{0,47}{0,04}\right)^{1,3} = 27227,4$$

4) Визначаємо категорію екологічної безпеки – III.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Стічні води деревообробних підприємств мають складний та нестабільний за характеристиками склад, що зумовлено різноманітністю технологічних операцій — від підготовки сировини до використання клеїв, смол і лакофарбових матеріалів. Основними забруднювачами є органічні речовини, феноли, формальдегід, завислі частки деревини, ПАР та смолисті компоненти, що потребує багатоступневих систем очищення.

2. Аналіз сучасних технологій очищення показав, що окремі методи (механічні, фізико-хімічні або біологічні) не забезпечують нормативної якості очищення стічних вод деревообробних підприємств, особливо за наявності фенольних і формальдегідних сполук. Найефективнішими є комбіновані схеми, що поєднують декілька методів.

3. Діючі системи очищення, що використовуються на підприємствах України, здебільшого є застарілими, мають низьку ефективність щодо ХСК, БСК, фенолу та формальдегіду, та часто не враховують змінні навантаження виробництва. Це призводить до регулярних перевищень ГДС та підвищення екологічного ризику.

4. На прикладі досліджуваного підприємства встановлено низку істотних недоліків існуючої системи очищення: недостатня механічна підготовка стоку, відсутність DAF-флотації для вилучення смол та клеїв, перевантажені аеротенки, недостатня глибина біологічної очистки та майже повна відсутність фінішного доочищення.

5. Результати лабораторних та аналітичних досліджень довели, що головним фактором низької ефективності біологічної очистки є токсичність стоків, зумовлена вмістом формальдегіду, фенолів та клеєвих компонентів, що пригнічують активний мул і знижують інтенсивність окисних процесів.

6. Запропонована модернізована технологічна схема (коагуляція → DAF-флотація → біофільтр MBBR → сорбція → MBR) забезпечує комплексне очищення стоків та дозволяє істотно підвищити ступінь видалення органічних та токсичних речовин. Зокрема, застосування MBBR і сорбційних модулів є найефективнішим для стоків деревообробки.

7. Проведені розрахунки підбраного обладнання показали, що модернізована система здатна забезпечити очищення до нормативної якості, зменшуючи концентрацію COD на 98–99%, фенолів та формальдегіду — понад 99%, а завислих речовин — до показників нижче 15 мг/л.

8. Порівняльний аналіз «до та після модернізації» довів суттєве підвищення ефективності всієї системи очищення, причому найвагомий внесок зробили етапи DAF-флотації та сорбційного доочищення, які забезпечили глибоке видалення смол, клеїв і ароматичних сполук.

9. Запропоновані технічні рішення мають не лише екологічний, а й економічний ефект, оскільки зменшують витрати на реагенти, обслуговування активного мулу та плату за скидання стічних вод. Можливість повторного використання частини очищеної води зменшує загальне водоспоживання підприємства.

10. Комплексне удосконалення системи очищення стічних вод є необхідною умовою сталого розвитку деревообробних підприємств, дозволяє забезпечити відповідність екологічним нормам, зменшити антропогенне навантаження на довкілля, підвищити екологічну безпеку виробництва та сприятиме загальному покращенню природоохоронної діяльності галузі.

1. ДСТУ EN 312:2018 Плити деревинностружкові. Технічні умови. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 34 с.
2. Білоконь А.І., Савченко С.В. Технологія переробки деревних відходів. – Київ: Либідь, 2016. – 192 с.
3. Ковальов С.О., Ткаченко В.М. Охорона навколишнього середовища в деревообробній промисловості. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2017. – 156 с.
4. Радченко Л.О. Переробка деревинних плитних матеріалів: проблеми та перспективи // Науковий вісник НУБіП України. – 2020. – Вип. 5. – С. 77–83.
5. Єрмаков О.В. Екологічні аспекти утилізації промислових відходів // Екологічний вісник. – 2019. – №2. – С. 45–51.
6. ISO 12460-5:2015. Wood-based panels – Determination of formaldehyde release – Part 5: Extraction method (called the perforator method).
7. Nestic S., Stana-Kleinschek K., Kopitar D. Recycling of wood-based panel waste: Approaches and technologies // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 320. – 124674.
8. Пелипенко І.В. Методи рециклінгу деревинних матеріалів: сучасний стан та перспективи розвитку // Екологія та промисловість. – 2021. – №3. – С. 25–30.
9. Офіційний сайт компанії «Kronospan». Технології переробки деревних плитних матеріалів. – Режим доступу: <https://www.kronospan-worldwide.com>

10. Апостолюк С.О., Джигирей В.С. та ін. Охорона праці в деревообробній промисловості, - К.: Основа, 2003. – 486 с.
11. Закон України «Про охорону праці» - К.: Основа, 2003. – 28 с;
12. Законодавство України про охорону праці у 4-х томах. – К.: Основа, 1995.
13. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
14. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації
15. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2000. -350 с.
16. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. – підручник – Львів: УАД, 2016. – 336.
17. Апостолюк С.О., Джигирей В.С. та ін. Охорона праці у виробництві деревних композиційних матеріалів. – К.: Основа, 2003. – 381 с.
18. Апостолюк С.О., Джигирей В.С., Апостолюк А.С. та ін. Охорона праці в лісопилно-деревообробному виробництві. – К.: Основа, 2003. – 285 с.
19. Апостолюк С.О., Джигирей В.С. та ін. Санітарно-технічне та екологічне забезпечення безпеки праці в деревообробці.
20. Пальгов О.Н., Корнієнко А.А. Про шкідливість шуму і вібрації. – К.: Здоров'я, 1977 – 39 с.
21. Апостолюк С.О., Джигирей В.С., Апостолюк А.С. Промислова екологія. – К.: Знання, 2005 – 480 с.

- 22.Белов С.В., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф. и др. Охрана окружающей среды. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
- 23.Апостолук С.О., Джигирей В.С. та ін. Безпека праці: ергономічні та естетичні основи. – К.: Знання, 2005. – 215 с.
- 24.Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. – Львів: Афіша, 2000 – 350 с.
- 25.Геврик Г.О. Охорона праці. – К.: Ельта. Ніка центр, 2003. – 279
- 26.Протоєрейський О.С, Запорожець О.І. Охорона праці в галузі: Навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 268 с.
- 27.Русаловський А.В. Правові та організаційні питання охорони праці: Навч. посіб. – 4-те вид., допов. і перероб. – К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.
- 28.Третьяков О.В., Зацарний В.В., Безсонний В.Л. Охорона праці: Навчальний посібник з тестовим комплексом на CD/ за ред. К.Н. Ткачука. – К.: Знання, 2010. – 167 с.
- 29.Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 367 с.
30. Катренко Л.А., Кіт Ю.В., Пістун І.П. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2009. – 540 с.
- 31.Охорона праці в будівництві: Навч. посіб. посібник / за редакцією Коржика Б.М. і Іванова В.М. – Харків: Форт, 2010. – 388 с.