

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:

**«Аналіз та оцінка систем очищення повітря та
води на деревообробних підприємствах»**
*(«Analysis and evaluation of air and water purification
systems in woodworking enterprises»)*

Виконав: студент 6 курсу, групи ТЗНС-61м
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»
Хміль Назарій Васильович
(прізвище та ініціали)

Керівник Сомар Г.В..
(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

Хміль Назарій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Аналіз та оцінка систем очищення повітря та води на
деревообробних підприємствах**

*Analysis and evaluation of air and water purification systems in woodworking
enterprises*

Керівник роботи: Сомар Галина Володимирівна, 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, теоретичні і
експериментальні дослідження щодо аналізу та оцінки систем очищення
повітря та води на деревообробних підприємствах.

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



1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Оцінка та удосконалення систем очищення повітря та води на
деревообробних підприємствах.

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. Соколовський І.А. |  |  |
| | | | |

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 | |
| | Експериментальні дослідження | до 15.11.25 | |
| | Обробка результатів експериментальних досліджень | до 30.11.25 | |
| | Охорона праці | до 05.12.25 | |
| | Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації | до 15.12.25 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент  Хміль Н. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Сомар Г.В..
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ

Розділ 1. Теоретичні засади очищення повітря та води на деревообробних підприємствах

1.1. Джерела забруднення повітря та води у деревообробній промисловості

1.2. Фізико-хімічні характеристики пилу, летких органічних сполук та стічних вод

1.3. Вплив деревообробних викидів на довкілля та здоров'я людини

1.4. Нормативно-правові вимоги до очищення викидів та стічних вод в Україні та світі

1.5. Основні технології очищення повітря та води у деревообробній галузі

Розділ 2. Аналіз існуючих систем очищення повітря та води на деревообробних підприємствах

2.1. Характеристика виробництва та технологічних процесів підприємства

2.2. Системи аспірації та фільтрації повітря, які застосовуються на підприємстві

2.3. Технології очищення виробничих стічних вод на підприємстві

2.4. Оцінка технічного стану та експлуатаційної ефективності наявних систем

2.5. Аналіз відповідності існуючих систем екологічним нормам і стандартам

Розділ 3. Методика оцінки ефективності систем очищення повітря та води

- 3.1. Показники оцінки ефективності очищення повітря**
- 3.2. Показники оцінки ефективності очищення води**
- 3.3. Методи інструментально-лабораторних вимірювань**
- 3.4. Розрахункові моделі визначення ступеня очищення викидів та стічних вод**
- 3.5. Критерії комплексної екологічної оцінки систем очищення**

Розділ 4. Напрями удосконалення систем очищення повітря та води

- 4.1. Визначення слабких місць у функціонуванні діючих систем**
- 4.2. Технологічні рішення з модернізації систем аспірації та фільтрації повітря**
- 4.3. Удосконалення системи очищення виробничих стічних вод**
- 4.4. Порівняння запропонованих заходів з альтернативними технологіями**
- 4.5. Екологічна та економічна ефективність впровадження запропонованих рішень**

Охорона праці

Загальні висновки

Список використаних джерел

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена аналізу та оцінці систем очищення повітря і води на деревообробних підприємствах. У роботі розглянуто джерела формування викидів пилю, летких органічних сполук та забруднених стічних вод, визначено їхній вплив на стан атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, а також на здоров'я людини.

Проведено комплексний аналіз існуючих систем аспірації, фільтрації та очищення стічних вод підприємства. Оцінено їх відповідність сучасним екологічним нормам, технічний стан та ефективність роботи. Розроблена методика екологічної оцінки включає інструментальні вимірювання, лабораторні аналізи та розрахунок ефективності очищення за ключовими показниками.

У роботі запропоновано напрями вдосконалення технологічних систем очищення повітря та води, включаючи модернізацію фільтраційного обладнання, оптимізацію аспіраційних потоків та впровадження додаткових етапів доочищення виробничих стоків. Оцінено екологічні та економічні вигоди від реалізації запропонованих заходів.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення екологічної безпеки деревообробних підприємств, оптимізації природоохоронних заходів та розробки ефективних систем очищення у промисловому секторі.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the analysis and evaluation of air and water purification systems at woodworking enterprises. The work examines the sources of dust emissions, volatile organic compounds, and contaminated wastewater, as well as their impact on air quality, surface and groundwater, and human health.

A comprehensive assessment of the company's existing air aspiration, filtration, and wastewater treatment systems is conducted. Their compliance with environmental standards, technical condition, and operational efficiency is analyzed. The developed assessment methodology includes instrumental measurements, laboratory analyses, and the calculation of purification efficiency based on key environmental indicators.

The thesis proposes several directions for improving air and water purification technologies, including modernization of filtration equipment, optimization of aspiration flows, and implementation of additional wastewater polishing stages. Ecological and economic benefits of the proposed improvements are evaluated.

The results of this research can be used to enhance environmental safety at woodworking enterprises, optimize environmental protection measures, and design efficient purification systems for industrial facilities.

Вступ

Деревообробна промисловість є одним із ключових секторів економіки України, забезпечуючи виробництво меблів, будівельних матеріалів, плитних виробів та інших товарів широкого вжитку. Однак діяльність деревообробних підприємств пов'язана зі значним техногенним навантаженням на довкілля, зокрема через утворення пилу, летких органічних сполук (ЛОС), техногенних аерозолів та забруднених стічних вод. Недостатньо ефективні системи аспірації, фільтрації та очищення води можуть призводити до погіршення якості атмосферного повітря, забруднення водних ресурсів, деградації ґрунтів і підземних вод.

З огляду на сучасні вимоги екологічної безпеки та гармонізацію законодавства України з нормативами ЄС, питання модернізації систем очищення повітря та води на деревообробних підприємствах набуває особливої актуальності. Розробка ефективних рішень потребує комплексної оцінки технічних характеристик діючих систем, аналізу їхньої відповідності екологічним стандартам та визначення напрямів оптимізації.

У цьому контексті проведення дослідження на базі деревообробного підприємства дозволяє отримати реальні дані про стан природоохоронної інфраструктури на деревообробному підприємстві та визначити можливості її вдосконалення.

Актуальність теми

Актуальність дослідження зумовлена такими ключовими факторами:

- **Високе екологічне навантаження деревообробної промисловості.** Пил деревини, формальдегід, смоли, органічні розчинники та технологічні стоки становлять загрозу для повітряного й водного середовища.

- **Недостатній технічний рівень багатьох існуючих систем очищення.** Значна частина підприємств використовує застаріле обладнання або системи з низьким ступенем ефективності.

- **Зростання вимог екологічного законодавства.** Україна поступово імплементує європейські директиви щодо якості повітря та води.

- **Потреба підвищення безпеки працівників.** Висока запиленість та концентрація ЛОС негативно впливають на умови праці.

- **Необхідність збереження водних ресурсів.** Недоочищені стоки можуть спричинити вторинне забруднення поверхневих та підземних вод.

Таким чином, дослідження систем очищення повітря та води є необхідною умовою для екологізації діяльності деревообробних підприємств, підвищення їхньої ресурсної ефективності та зниження екологічних ризиків.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи

Провести аналіз та комплексну оцінку систем очищення повітря та води на деревообробному підприємстві та розробити рекомендації щодо їхнього вдосконалення з урахуванням екологічних нормативів і технологічних особливостей виробництва.

Основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати джерела забруднення повітря та води на деревообробних підприємствах.

2. Охарактеризувати сучасні технології очищення пилю, летких органічних сполук та виробничих стічних вод.

3. Дослідити технологічний процес і системи очищення, що функціонують на ПІДПРИЄМСТВІ.

4. Оцінити технічний стан, ефективність та відповідність існуючих систем екологічним стандартам.

5. Виконати екологічну оцінку ступеня очищення повітря та води за ключовими показниками.

6. Розробити рекомендації щодо вдосконалення систем аспірації, фільтрації та водоочищення.

7. Оцінити економічні та екологічні вигоди впровадження запропонованих заходів.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження: Системи очищення повітря та виробничих стічних вод на деревообробному підприємстві.

Предмет дослідження: Технологічні процеси, технічні параметри, ефективність роботи та екологічний вплив систем аспірації, фільтрації та очищення води.

Методи дослідження

Для забезпечення достовірності результатів застосовано комплекс методів:

- **Аналітичні методи** - вивчення нормативних документів, технічної документації, екологічних звітів.
- **Інструментальні методи** - вимірювання концентрацій пилу, ЛОС, завислих речовин, біогенних елементів та інших показників.
- **Лабораторні методи** - фізико-хімічний аналіз проб води (рН, ХСК, БСК₅, важкі метали, зважені речовини).
- **Розрахункові методи** - визначення ефективності очищення за встановленими формулами та індексами.
- **Порівняльний аналіз** - співставлення ефективності різних систем очищення та їх відповідності екологічним вимогам.
- **Системний аналіз** - оцінка інтегрального екологічного стану систем очищення та їх впливу на довкілля.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у:

1. Узагальненні й систематизації сучасних технологій очищення повітря та води саме у деревообробній галузі з урахуванням українських та європейських екологічних вимог.
2. Проведенні комплексної оцінки роботи систем очищення на реальному підприємстві із використанням інструментальних та розрахункових методів.
3. Формуванні методики порівняння ефективності систем аспірації та водоочищення на основі інтегрованого екологічного індексу.
4. Розробленні практичних рекомендацій щодо модернізації природоохоронного обладнання з урахуванням специфіки деревообробного виробництва.
5. Визначенні напрямів зниження техногенного навантаження та підвищення екологічної безпеки підприємства.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ НА ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1. Джерела забруднення повітря та води у деревообробній промисловості [1-7]

Деревообробна промисловість характеризується багатоступеневими технологічними процесами, кожен з яких формує власний спектр викидів у повітря та забруднень у водне середовище. Основними чинниками утворення шкідливих речовин є механічна обробка деревини, сушіння, склеювання, пресування, лакофарбове покриття, очищення обладнання та допоміжні операції виробництва.

Інтенсивність утворення забруднення залежить від типу деревини, характеристик обладнання, організації вентиляції, наявності фільтраційних та очищувальних систем, а також рівня технологічної автоматизації.

Забруднення можуть мати пилову, хімічну, органічну, біогенну та водно-колоїдну природу. Вони несуть ризик для довкілля та здоров'я працівників, тому аналіз джерел їх утворення є базовим етапом екологічної оцінки підприємства.

Основні джерела забруднення повітря

- 1. Операції розпилювання та стругання деревини** - утворюють дрібнодисперсний пил (фракції PM10, PM2.5).
- 2. Шліфування та калібрування** - формують найменші фракції пилу, що довше утримуються в повітрі.
- 3. Сушильні камери** - викиди летких органічних сполук (ЛОС), смол, органічних кислот.
- 4. Пресування та склеювання деревних плит** - формальдегід, фенол, толуол, ксилол.

5. **Лакофарбові роботи** - ЛОС, технологічні аерозолі, дрібнодисперсні частинки фарб і лаків.

6. **Спалювання відходів або робота котельні** - CO₂, CO, NO_x, SO₂, сажа.

7. **Несправні або неповні системи аспірації** - вторинне запилення робочої зони.

Основні джерела забруднення води

1. **Миття обладнання та інструменту** - забруднення смолами, клеями, фарбами та розчинниками.

2. **Охолоджувальні системи деревообробного обладнання** - підвищена температура, завислі частинки, мінералізація.

3. **Стічні води від очищення приміщень** - деревний пил, органічні та неорганічні забруднення.

4. **Викиди після лакофарбових робіт** - пігменти, акрилати, поліуретани, розчинники.

5. **Побутові стоки підприємства** - додаткове органічне навантаження.

6. **Доочищення газів мокрими методами (якщо застосовується)** - концентровані суспензії пилу та смол.

Таблиця 1. Основні джерела забруднення повітря та води на деревообробних підприємствах

| Джерело забруднення | Тип забруднення | Основні забруднювальні речовини | Потенційний вплив |
|-------------------------------|------------------------|--|--|
| Розпилювання, стругання | Пилове | Деревний пил, мікрочастинки деревини | Запиленість повітря, ризики для дихальної системи |
| Шліфування | Дрібнодисперсний пил | PM10, PM2.5 | Легеневі захворювання, забруднення атмосфери |
| Сушильні камери | Хімічне, органічне | ЛОС, смоли, кислотні пари | Забруднення повітря, утворення фотохімічного смоге |
| Склеювання деревних плит | Органічне, токсичне | Формальдегід, фенол, толуол | Токсичний вплив на людину, канцерогенність |
| Лакофарбові камери | Органічне | Розчинники, ЛОС, фарбові аерозолі | Забруднення повітря, токсичність |
| Система охолодження | Водне | Підвищена температура, завислі речовини | Негативний вплив на водні екосистеми |
| Миття обладнання | Водне, органічне | Смоли, фарби, клеї, органічні розчинники | Забруднення поверхневих і підземних вод |
| Очищення приміщень | Завислі частинки | Деревний пил, дрібні частки | Утворення забруднених стічних вод |
| Котельня, спалювання відходів | Газове | CO ₂ , CO, NO _x , SO ₂ , сажа | Атмосферні викиди, кислотні опади |

1.2. Фізико-хімічні характеристики пилу, летких органічних сполук та стічних вод

Забруднення, що утворюються на деревообробних підприємствах, мають різну природу та властивості, що визначають їхню поведінку у повітрі та воді, токсичність, здатність до міграції та вплив на довкілля. До основних компонентів належать деревний пил, леткі органічні сполуки (ЛОС) та виробничі стічні води зі складним органічно-колоїдним складом.

Фізико-хімічні характеристики цих забруднень визначають методи їхнього очищення, ефективність фільтраційних систем, вибір технологій водоочищення та ризику, пов'язані з їх накопиченням.

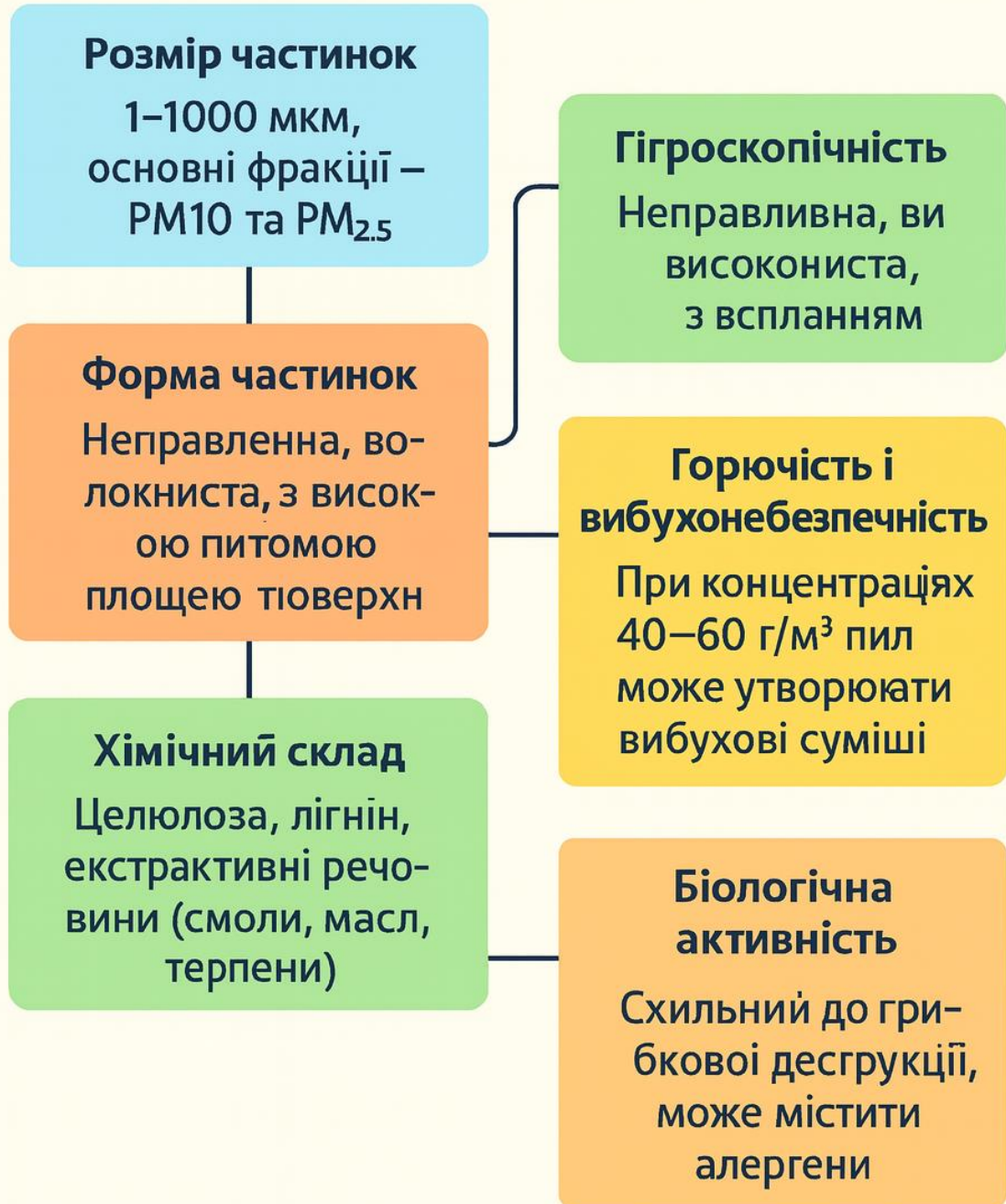
Характеристики деревного пилу

Деревний пил є основним забруднювачем повітря в деревообробній промисловості. Його властивості залежать від типу деревини, режимів обробки та параметрів вентиляційних систем.

Основні характеристики деревного пилу:

- Розмір частинок: 1–1000 мкм, основні фракції - PM10 та PM2.5.
- Форма частинок: неправильна, волокниста, з високою питомою площею поверхні.
- Гігроскопічність: пил здатний поглинати вологу, що впливає на його осадження та злипання.
- Горючість і вибухонебезпечність: при концентраціях 40–60 г/м³ пил може утворювати вибухові суміші.
- Хімічний склад: целюлоза, лігнін, екстрактивні речовини (смоли, масла, терпени).
- Біологічна активність: схильний до грибової деструкції, може містити алергени.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ



Особливість: дрібнодисперсні частинки найбільш небезпечні, оскільки глибоко проникають у дихальну систему та довго утримуються в повітрі.

Характеристики летких органічних сполук (ЛОС)

ЛОС є продуктами сушіння деревини, склеювання, пресування та лакофарбових робіт. Їхня токсичність та леткість визначають екологічний ризик і вимоги до очищення повітря.

Основні характеристики ЛОС:

- Висока леткість: швидко переходять у газову фазу при кімнатній температурі.
- Низька щільність пари, що сприяє поширенню в приміщенні та атмосфері.
- Хімічна активність: беруть участь у фотохімічних реакціях (утворення приземного озону).
- Розчинність у воді: залежить від сполуки (формальдегід добре розчинний, толуол і ксилол - мало).
- Токсичність: формальдегід і фенол мають канцерогенні властивості.
- Запах: більшість ЛОС мають характерний, часто різкий запах.
- Стабільність: деякі сполуки можуть зберігатися в повітрі до 24–48 годин.

Найпоширеніші ЛОС у деревообробці: формальдегід, фенол, толуол, ксилол, ацетон, бутанол, етилацетат.

Характеристики виробничих стічних вод

Стічні води деревообробних підприємств мають складний склад, зумовлений використанням клеїв, лаків, фарб, мийних засобів та деревного пилу.

Основні параметри, характерні для таких стоків:

- Підвищена концентрація завислих речовин: 150–800 мг/л.
- Завислі органічні колоїди: деревинна мука, лігнін, смоли.
- ХСК: 300–2000 мг O₂/л (висока хімічна потреба в кисні).
- БСК₅: 150–600 мг O₂/л (середнє та високе навантаження за органікою).
- Наявність токсичних компонентів: формальдегід, фенол, полімерні смоли.
- Змінність складу: залежить від виробничого циклу та обсягу промивань.
- Нерівномірність стоку: хвилеподібний характер надходження (пікові фази під час миття обладнання).
- Можливе підвищення температури: до 30–40 °С при охолодженні обладнання.

Підсумкові властивості, що визначають очищення

- Пил - дрібнодисперсний, летючий, вибухонебезпечний, потребує багаторівневих систем аспірації та фільтрації.
 - ЛОС - токсичні та активні, потребують сорбційних, конденсаційних або термічних методів очищення.
 - Стічні води - комплексні, колоїдно-дисперсні, потребують комбінації механічного, фізико-хімічного та біологічного очищення.
- ### **1.3. Вплив деревообробних викидів на довкілля та здоров'я людини**

Викиди деревообробних підприємств формують комплексний вплив на атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти та біоту. Найбільш проблемними компонентами є: деревний пил, леткі органічні сполуки (формальдегід, фенол, толуол, ксилол), смоли, органічні кислоти, дрібнодисперсні аерозолі, а також забруднені стічні води зі значним органічним та хімічним навантаженням. Сукупність цих факторів формує як локальні (в межах підприємства), так і регіональні екологічні ризики.

1. Вплив на атмосферне повітря

Деревний пил та органічні газові викиди є основними забруднювачами повітря деревообробної галузі. Вони спричиняють:

- Підвищення концентрації зважених частинок (PM10 і PM2.5), які затримуються в атмосфері тривалий час.
- Утворення вторинних аерозолів і фотохімічного смогу за участю ЛОС.
- Погіршення прозорості повітря та збільшення локальної запиленості.
- Осідання пилу на ґрунти, водойми та рослинність, що призводить до вторинного забруднення екосистем.
- Накопичення токсичних органічних парів у робочій зоні при недостатній вентиляції.

ЛОС можуть брати участь у фотохімічних реакціях з утворенням приземного озону - компонента смогів, який шкідливий як для здоров'я, так і для рослин.

2. Вплив на водні ресурси

Забруднені стічні води деревообробних підприємств мають високий вміст органіки та колоїдів, що впливають на водні екосистеми:

- Підвищення ХСК та БСК₅, що призводить до дефіциту кисню у водоймах.
- Утворення токсичних зон через накопичення формальдегіду, фенолу, смол і полімерів.
- Зміна кольору та запаху води внаслідок органічних фарбувальних компонентів.
- Погіршення умов для розвитку риб, зоопланктону та бентосу.
- Ризики проникнення токсинів у підземні води за відсутності герметичної каналізації.
- Порушення природних біогеохімічних процесів у водоймах і ґрунтах.

Стічні води з високим вмістом дрібних частинок можуть спричинити замулення русел і зниження гідропровідності ґрунтів.

3. Вплив на ґрунти та екосистеми

Депонування пилу, смол і хімічних компонентів спричиняє деградаційні процеси в прилеглих екосистемах: • Накопичення органічних токсикантів у верхньому шарі ґрунту. • Порушення повітряно-водного балансу ґрунтів унаслідок засмічення дрібними частинками. • Пригнічення росту рослин, зменшення фотосинтетичної активності. • Вимивання хімічних компонентів у ґрунтові води. • Зниження біорізноманіття у зонах впливу підприємства.

Особливо шкідливими є формальдегід та фенольні сполуки, які проявляють токсичну дію навіть у малих концентраціях.

4. Вплив на здоров'я працівників та населення

Працівники деревообробних підприємств піддаються постійному впливу пилу та ЛОС, що може викликати широкий спектр захворювань.

Вплив пилу: • Хронічні бронхіти, риніт, астма. • Подразнення слизових оболонок очей та дихальних шляхів. • Збільшення ризику алергічних реакцій. • Розвиток професійних пневмоконіозів при тривалому впливі дрібних частинок. **Вплив ЛОС:** • Головний біль, запаморочення, подразнення очей. • Порушення роботи нервової системи. • Печінкова та ниркова токсичність (фенол, толуол). • Канцерогенна дія формальдегіду (IARC Group 1). **Вплив стічних вод (непрямий):** • Потрапляння токсичних речовин у питні джерела створює ризик хімічного отруєння. • Вторинне зараження через контактування з забрудненими ґрунтами чи водою.

5. Соціально-екологічні ризики

• Погіршення якості повітря в житлових зонах поруч із підприємствами. • Підвищення рівня захворюваності населення. • Зниження рекреаційного та природного потенціалу території. • Накопичення небезпечних речовин у довкіллі з довготривалим впливом.

Висновок

Вплив деревообробних викидів є комплексним та багаторівневим і потребує ефективних систем очищення повітря та води. Оцінка цих ризиків є базою для подальшого вдосконалення природоохоронної інфраструктури підприємств.

1.4. Нормативно-правові вимоги до очищення викидів та стічних вод в Україні та світі [11-19]

Нормативно-правове регулювання у сфері очищення повітря та води є ключовим елементом забезпечення екологічної безпеки деревообробних підприємств. Україна поступово адаптує своє законодавство до стандартів Європейського Союзу, що вимагає підвищення ефективності природоохоронних систем та впровадження сучасних технологій очищення.

Законодавчі документи визначають гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин, вимоги до методів очищення, правила експлуатації фільтраційних і водоочисних систем, а також відповідальність підприємств за порушення екологічних норм.

Нормативні документи України, що регулюють очищення викидів в атмосферу

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
- Закон України «Про охорону атмосферного повітря».
- ДСП 201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць».
- Гранично допустимі викиди (ГДВ) для основних забруднювачів деревообробних підприємств: пил деревини, формальдегід, фенол, ЛОС.
- ДСТУ ISO 4225:2001 «Якість повітря. Загальні положення». • Вимоги до систем аспірації та фільтрації згідно з ОНТП 24-86 та чинними галузевими нормативами.

Нормативні вимоги щодо очищення стічних вод в Україні

- Водний кодекс України. • Закон України «Про питну воду та питне водопостачання».

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».

- ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди».

- ДСТУ 7369:2013 «Якість води. Відбір проб».

- Норми ГДС (гранично допустимі скиди) для підприємств, що скидають стоки у водні об'єкти або центральну каналізацію.

- СанПіН 4630-88 щодо гігієнічних вимог до стічних вод.

Міжнародні стандарти та директиви ЄС

Українське законодавство гармонізує із вимогами:

- **Директиви ЄС 2010/75/ЕС (IED)** - про промислові викиди (найкращі доступні технології - BAT).

- **Директиви 2008/50/ЕС** - про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.

- **Директиви 91/271/ЕЕС** - про очищення міських стічних вод.

- **Директиви 2000/60/ЕС (Water Framework Directive)** - про охорону та управління водними ресурсами.

- **Стандарти ISO 14000** - екологічний менеджмент.

- **BAT Reference Documents (BREF)** - стандарти ЄС для деревообробної промисловості та виробництва ДСП/МДФ.

- **US EPA Standards** (для порівняння) - нормативи очищення VOC, пилових фракцій та промислових стоків у США.

Ці стандарти визначають вимоги до очищення пилу, ЛОС, забруднених стічних вод, впровадження систем моніторингу та використання найкращих доступних технологій.

Таблиця 2. Порівняння основних нормативних вимог України та ЄС

| Напрямок регулювання | Україна | ЄС / Міжнародні стандарти | Коментар |
|------------------------------------|---|---|--|
| Регулювання атмосферних викидів | Закон «Про охорону атмосферного повітря», ГДВ, ДСП 201-97 | Директива 2008/50/ЄС, IED 2010/75/ЄС | ЄС має жорсткіші вимоги до ЛОС і дрібних фракцій пилу |
| Норми очищення стічних вод | ДБН, ГДС, Водний кодекс | Water Framework Directive | ЄС вимагає інтегрованого управління басейнами річок |
| Вимоги до технологій | Відсутність обов'язковості BAT | Обов'язкові BREF (BAT) | BAT - ключовий елемент європейської екологічної політики |
| Моніторинг | Переважно періодичний контроль | Континуальний моніторинг (CEMS) | ЄС вимагає онлайн-контроль у багатьох галузях |
| VOC (ЛОС) | Обмеження для окремих речовин (формальдегід, фенол) | Чіткі ліміти сумарних ЛОС | У ЄС суворіші нормативи |
| Пилові викиди | ГДВ пилу - на рівні національних норм | PM2.5 та PM10 регулюються директивами та WHO Guidelines | ЄС орієнтований на захист здоров'я населення |
| Стандарти екологічного менеджменту | ДСТУ ISO 14001 (на добровільній основі) | ISO 14001 широко застосовується, часто є вимогою | Міжнародні компанії запроваджують ISO як стандарт |

Висновок

Нормативно-правові вимоги України перебувають у процесі адаптації до європейських, однак все ще залишаються менш суворими за регламенти ЄС. Це створює необхідність модернізації систем очищення повітря та води на деревообробних підприємствах, щоб відповідати міжнародним стандартам екологічної безпеки.

1.5. Основні технології очищення повітря та води у деревообробній галузі [4-7]

Деревообробні підприємства використовують комплекс технологій для зменшення пилового навантаження, очищення газових потоків від летких органічних сполук та видалення забруднень зі стічних вод. Вибір технологій залежить від типу виробництва, інтенсивності процесів, обсягів утворення забруднень та вимог екологічних стандартів.

1. Технології очищення повітря

Очищення повітря у деревообробній промисловості спрямоване на видалення пилу та газоподібних органічних сполук. Застосовуються такі основні технології:

1.1. Грубодисперсне механічне очищення

- Циклони • Мультициклонні батареї • Повітряні сепаратори

Видаляють частинки розміром $>10-30$ мкм, застосовуються як перші ступені очищення.

1.2. Тонкодисперсне фільтрування

- Рукавні фільтри (тканинні фільтрувальні елементи) • Картриджні фільтри • Фільтри з імпульсною регенерацією

Забезпечують високий ступінь очищення - до 95-99 % дрібнодисперсного пилу (PM10, PM2.5).

1.3. Електрофільтри

- Сухі електрофільтри • Мокрі електрофільтри

Ефективні для дрібних частинок та аерозолів, знижують запиленість до <10 мг/м³.

1.4. Очищення від летких органічних сполук (ЛОС)

- Адсорбція на активованому вугіллі • Каталітичне окиснення • Термальне (високотемпературне) окиснення • Конденсація парів ЛОС

Застосовуються у лакофарбових камерах, сушильних відділеннях та пресових цехах.

1.5. Аспіраційні та вентиляційні системи

- Локальна та загальнообмінна вентиляція • Трубопровідні мережі для видалення пилу • Вентиляційні установки з рекуперацією

Забезпечують відведення пилу з робочої зони та подачу очищеного повітря.

2. Технології очищення води

Виробничі стічні води деревообробної галузі містять завислі частинки деревного пилу, смоли, клеї, фарби та органічні розчинники. Для їхнього очищення застосовують багатоступеневі методи:

2.1. Механічні методи

- Відстійники • Пісколовки • Флотаційні установки • Ґрати та сита

Видаляють крупнодисперсні та завислі речовини.

2.2. Фізико-хімічні методи

- Коагуляція • Флокуляція • Нейтралізація • Іонний обмін • Адсорбція на активованому вугіллі • Окиснення пероксидом чи озоном

Допомагають видалити смоли, розчинені органічні речовини та токсичні домішки.

2.3. Біологічне очищення

• Аеротенки • Біофільтри • Біоплато • Мембранні біореактори (MBR)
Забезпечують зниження органічного навантаження (БСК₅, ХСК).

2.4. Сорбційні та мембранні технології

• Зворотний осмос • Нанофільтрація • Мікрофільтрація •

Ультрафільтрація

Ефективні для доочищення очищених стоків перед повторним використанням.

2.5. Комплексні системи водоочищення

• Комбіновані установки механічного + фізико-хімічного + біологічного очищення • Замкнені водооборотні цикли • Локальні очисні споруди (ЛОС) для деревообробних підприємств

Такі системи дозволяють мінімізувати об'єм скидів та забезпечити повторне використання води у технологічному процесі.

Висновок

Деревообробні підприємства потребують багаторівневого очищення повітря та води з використанням різних технологічних підходів. Найбільш ефективними є комбіновані системи, що поєднують механічні, фільтраційні, адсорбційні та біологічні методи, забезпечуючи відповідність екологічним нормативам та зниження техногенного навантаження.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

2.1. Характеристика виробництва та технологічних процесів підприємства [19]

Деревообробне підприємство, розташоване у Львівській області. Основна спеціалізація підприємства - виробництво меблевих заготовок, щитових елементів та декоративних плит з деревини м'яких і твердих порід для подальшого використання у меблевому та будівельному секторі. Підприємство належить до категорії середніх за потужністю: середньорічний обсяг переробки деревини становить орієнтовно 15–20 тис. м³ кругляка та пиломатеріалів на рік. Виробництво функціонує у двозмінному режимі, із середньою тривалістю зміни 8 годин, шість днів на тиждень. Загальна чисельність персоналу - близько 80–100 працівників, з яких 60–70 % зайняті у виробничих цехах.

2.1.1. Виробнича структура та основні підрозділи

Виробнича структура підприємства включає такі основні цехи та дільниці: • дільниця розкрою та первинної обробки деревини; • дільниця стругання, калібрування та профілювання; • сушильне господарство (камери конвективного сушіння деревини); • дільниця склеювання щитів та плит (пресове обладнання); • шліфувально-калібрувальна дільниця; • дільниця лакофарбової обробки (лише фінішні покриття частини продукції); • складські приміщення для сировини та готової продукції; • котельня (на відходах деревини - тирса, тріска); • допоміжні приміщення (ремонтно-механічна дільниця, побутові приміщення, адмінкорпус).

Кожна ділянка формує специфічні види забруднень, що безпосередньо пов'язані з подальшим аналізом систем очищення повітря та води.

2.1.2. Основні технологічні етапи переробки деревини

Технологічний процес на підприємстві можна умовно розділити на кілька основних етапів:

- Прийом і складування сировини: на відкритому та закритому складах зберігаються пиломатеріали, щити та деревні заготовки; здійснюється первинний огляд якості та сортування.
- Розкрій та первинна обробка: круглі та обрізні пиломатеріали розкрояються на багатопильних та форматно-розкрійних верстатах, утворюється значна кількість деревного пилу та стружки.
- Стругання, фрезерування, профілювання: деталі обробляються на рейсмусових, фуговальних, чотиристоронніх верстатах; формується дрібнодисперсний пил, особливо при високошвидкісній обробці.
- Сушіння деревини: сировина піддається камерній сушці до необхідної вологості (8–12 %). У процесі сушіння частково виділяються смоли та леткі органічні компоненти.
- Склеювання та пресування: виготовляються клеєні щити та елементи плит. Застосовуються синтетичні смоли (на основі ПВА та карбамідоформальдегідних систем для окремих позицій), що є потенційним джерелом ЛОС.
- Шліфування та фінішна механічна обробка: поверхні щитів, деталей та елементів плит піддаються шліфуванню та калібруванню, що формує найдрібніші фракції пилу (PM10, PM2.5).
- Лакофарбове покриття (частково): для частини продукції застосовуються водорозчинні або поліуретанові лакофарбові матеріали, що створює додаткові викиди ЛОС при недостатньому очищенні повітря.
- Пакування та складування готової продукції.

2.1.3. Сировина, допоміжні матеріали та енергетичне забезпечення

Основні види сировини: • деревина хвойних порід (сосна, ялина); • деревина твердих порід (бук, дуб, ясен) для декоративних елементів; • фанера та МДФ-плити (для окремих комплектуючих). Допоміжні матеріали: • клеї ПВА для меблевих щитів; • карбамідоформальдегідні клеї для конструкційних елементів (обмежено, переважно у внутрішніх шарах); • шліфувальні матеріали (шліфстрічки, шкурки); • лакофарбові матеріали (водорозчинні лаки, іноді - поліуретанові системи); • мийні та знежирювальні засоби для обладнання. Енергетичне забезпечення: • електроенергія - для роботи верстатів, насосів, вентиляторів, освітлення; • тепла енергія - власна котельня на деревних відходах (тирса, тріска), яка може створювати додаткові викиди продуктів згоряння.

2.1.4. Організація аспірації, вентиляції та поводження з відходами

У цехах розкрою, стругання, профілювання та шліфування діє централізована аспіраційна система: • локальні відсмоктувачі встановлені безпосередньо на кожній одиниці обладнання; • повітря з пилом подається по трубопроводній мережі до центрального циклона та рукавного фільтра; • очищене повітря частково повертається в цех, частково викидається в атмосферу. Деревний пил та стружка після відокремлення збираються у бункери та використовуються: • як паливо для котельні; • частково - як сировина для сторонніх споживачів (брикетування, підстилка). У лакофарбовій дільниці функціонує витяжна вентиляція з фільтрацією фарбового аерозолі, однак ступінь очищення ЛОС є обмеженим, що зумовлює необхідність подальшої оцінки ефективності газоочисних систем.

2.1.5. Водокористування та утворення стічних вод

Підприємство використовує воду для: • побутових потреб персоналу; • миття обладнання (особливо у лакофарбовій дільниці та на дільниці

склеювання); • періодичного прибирання виробничих приміщень (змивання деревного пилу та забруднень); • роботи окремих систем охолодження. Основні види стічних вод: • умовно чисті стоки (після охолодження обладнання); • забруднені стоки з деревним пилом, дрібними частинками, залишками клеїв і лакофарбових матеріалів; • побутові стоки (санвузли, душові). Стічні води від виробничих процесів надходять спочатку в локальні відстійники, де відбувається осадження завислих речовин, після чого скидаються в систему господарсько-побутової каналізації або локальні очисні споруди (залежно від конкретної схеми, яка детальніше аналізується в наступних підрозділах).

2.1.6. Екологічні аспекти роботи підприємства

Технологічні процеси виробництва супроводжуються: • утворенням значних обсягів деревного пилу у зонах розкрою, стругання, шліфування; • викидами ЛОС у сушильних та лакофарбових дільницях; • утворенням виробничих стічних вод із підвищеним вмістом органіки, завислих речовин та залишків хімічних компонентів; • викидами продуктів згоряння у котельні (CO_2 , CO , NO_x , SO_2 , сажа). Це зумовлює необхідність підтримання ефективних систем аспірації та фільтрації повітря, модернізації локальних очисних споруд, а також регулярного моніторингу викидів та скидів. Саме ці аспекти є предметом подальшого детального аналізу в наступних підрозділах.

2.2. Системи аспірації та фільтрації повітря, які застосовуються на підприємстві

На підприємстві діє централізована система аспірації та пиловловлення, яка забезпечує відведення та очищення повітря від пилу, що утворюється під час механічної обробки деревини. Система охоплює основні виробничі дільниці: розкрій, стругання, профілювання та шліфування.

Окремо функціонують вентиляційно-фільтраційні установки на лакофарбовій ділянці та у сушильному господарстві.

Система характеризується багатоступеневим очищенням, яке включає механічне відокремлення крупнодисперсного пилю, тонке фільтрування та організований викид або рециркуляцію очищеного повітря.

2.2.1. Централізована аспіраційна система механічної обробки деревини

Система забезпечує відсмоктування пилю від верстатів і транспортування його до центрального пиловловлювального вузла. Вона включає:

- локальні відсмоктувачі на кожній одиниці обладнання
- магістральну трубопровідну мережу
- циклон-попередник
- рукавний фільтр високої ефективності
- вентиляторну станцію
- бункери для збору пилю

2.2.1.1. Локальні відсмоктувачі та верстатне оснащення

Для 4- і 6-операційних верстатів встановлені:

- діаметри відсмоктувальних патрубків: 100–160 мм
- швидкість повітря у патрубках: 22–28 м/с
- мінімальна продуктивність для одного верстата: 1000–2500 м³/год

Приклад обладнання, яке використовує підприємство:

- чотиристоронні верстати *Weinig Profimat 26 / Unimat 500*
- форматно-розкрійні верстати *Altendorf WA 8 / Holzmann FKS*
- рейсмусові та фугувальні машини *SCM та Holzmann*
- калібрувальні-шліфувальні верстати *Bulldog / Griggio*

Кожне робоче місце має металеві або гофровані ПВХ-повітропроводи з антистатичним покриттям.

2.2.2. Трубопровідна мережа

- Матеріал: оцинкована сталь із товщиною стінки 0,8–1,0 мм

- Діаметри магістралей: 200–450 мм
- Робочий вакуум: 1300–1800 Па
- Максимальна швидкість потоку: 28–32 м/с (для уникнення осадження пилу)

Система оснащена ревізійними люками кожні 10–12 м, а також зворотними клапанами для запобігання зворотному руху повітря у випадку аварійної зупинки.

2.2.3. Циклон-попередник (грубодисперсне очищення)

Використовуються циклони типу ЦН-15 або аналогічні європейські установки.

Технічні характеристики циклона:

- Діаметр корпусу: 1200–1500 мм
- Продуктивність: 8000–12000 м³/год
- Ефективність вилучення частинок >30 мкм: 80–90 %
- Матеріал: сталь 3 мм
- Відведення пилу: шнековий транспортер у бункер

Функція циклона - розвантаження рукавного фільтра та зменшення пилового навантаження на тонке очищення.

2.2.4. Рукавний фільтр (тонке очищення)

Центральний фільтраційний блок є основним елементом системи очищення повітря. На підприємстві використовується модульний рукавний фільтр типу **JFH-16** або **JET-PULSE**, оснащений імпульсною регенерацією.

Технічні характеристики фільтра:

- Кількість фільтрувальних рукавів: 200–260 шт
- Тип рукавів: поліестер з антистатичним покриттям
- Довжина рукава: 2,5–3,0 м
- Площа фільтрувальної поверхні: 300–400 м²

- Продуктивність: 15 000–22 000 м³/год
- Ступінь очищення: 97–99,5 % для частинок 10–2,5 мкм
- Авторегенерація: імпульс стисненого повітря 5–6 бар
- Температуростійкість: до 80 °С

Пил надходить у бункер, а очищене повітря подається назад у цех або викидається назовні через димар.

2.2.5. Вентиляторна станція

- Тип: радіальний високонапірний вентилятор
- Продуктивність: 20 000–25 000 м³/год
- Статичний тиск: 2500–3000 Па
- Потужність двигуна: 18–30 кВт
- Матеріал крильчатки: сталь з антикорозійним покриттям

Вентилятори забезпечують стабільну роботу аспірації навіть при підключенні кількох ліній одночасно.

2.2.6. Система збору та транспортування пилу

Пил після фільтрації збирається у:

- бункери об'ємом 3–5 м³
- гнучкі біг-беги для дрібних фракцій
- шнекові транспортери для подачі в котельню

Частина відходів використовується як паливо, частина - переробляється у брикети або передається іншим виробникам.

2.2.7. Системи очищення повітря на лакофарбовій дільниці

У фарбувальній камері встановлена двоступенева фільтрація:

1. Механічний фільтр (поліефірний лабіринтовий)

- Товщина: 50–100 мм
- Ефективність уловлювання фарбового аерозолі: 85–90 %

2. Фільтр тонкого очищення (акрилове полотно)

- Ефективність очищення дрібнодисперсного аерозолу: 90–95 %

Вентиляційна установка має продуктивність:

- 6000–9000 м³/год
- швидкість повітря у робочій зоні: 0,25–0,35 м/с

Однак система не очищує ЛОС - це один із недоліків, який буде оцінено у розділі 2.4.

2.2.8. Система вентиляції сушильних камер

Сушильні камери оснащені:

- витяжними вентиляторами (3000–4000 м³/год)
- регульованими клапанами вологості
- температурними датчиками (діапазон 40–120 °С)

Очищення від ЛОС не передбачено, відведення повітря здійснюється без фільтрації - типова ситуація для більшості підприємств середнього сегменту.

2.2.9. Загальна оцінка системи

Переваги: • багатоступеневе очищення (циклон + рукавний фільтр);

- високий ступінь пиловловлення;
- стабільна робота при високих навантаженнях;
- ефективна аспірація верстатів.

Недоліки:

- недостатня фільтрація ЛОС;
- відсутність газоочистки сушильних камер;
- часткове повернення повітря у цех → ризик вторинного забруднення;
- система потребує модернізації для відповідності стандартам ЄС.



Рис. 2.1. Системи очищення повітря на діючому підприємстві



Рисунок 2.2 Рукавний фільтр (фільтраційна установка тонкого очищення повітря)

На зображенні - вертикальна модульна фільтраційна установка з набором тканинних рукавів. Фільтр під'єднаний до металевих повітропроводів, через які подається запилене повітря. В нижній частині - металеві бункери для збору пилу. Такий тип обладнання забезпечує тонкодисперсне очищення (до 99 %) та використовується у деревообробних цехах після циклона.



Рисунок 2.3 Локальні відсмоктувачі та аспіраційні патрубки на деревообробних верстатах

У центральній частині зображення показані гнучкі гофровані шланги, підключені до металевої магістралі аспірації. Гофровані рукави з'єднані з індивідуальними патрубками двох деревообробних верстатів. Такі відсмоктувачі видаляють пил безпосередньо з робочої зони верстата, запобігаючи його розповсюдженню в цеху.



Рисунок 2.3 Фільтраційно-вентиляційний модуль лакофарбової камери

Права частина зображення демонструє приточно-витяжну систему фарбувальної камери. Верхня частина - вентиляційний блок із прямокутним корпусом, який з'єднаний круглими повітропроводами. Нижня частина - робоча зона камери з фільтрувальними касетами синьо-зеленого кольору, що поглинають фарбовий аерозоль. Такий модуль забезпечує очищення повітря під час нанесення лакофарбових матеріалів.

2.3. Технології очищення виробничих стічних вод на підприємстві

Стічні води на підприємстві формуються переважно під час миття обладнання (особливо після лакофарбових та клеєвих процесів), при прибиранні виробничих приміщень та частково - під час роботи охолоджувальних систем. За своїм складом вони містять деревний пил, дрібні органічні частинки, смоли, залишки клеїв ПВА та карбамідоформальдегідних систем, залишки ЛФМ, поверхнево-активні речовини та інші органічні забруднення.

Досліджуване підприємство використовує **локальну систему очищення стічних вод комбінованого типу**, яка включає механічне, фізико-хімічне та частково біологічне очищення. Система адаптована до нерівномірного надходження стічних вод, характерного для деревообробних підприємств.

2.3.1. Схема очищення стічних вод

Стандартна технологічна лінія включає такі етапи:

- приймальний колодязь та піско-відстійник
- механічне очищення (грати / сито + відстійники)
- фізико-хімічне очищення (коагуляція, флокуляція)
- флотатор напірного типу
- сорбційний фільтр тонкого очищення
- накопичувальна ємність для очищеної води
- скидання у каналізацію або повторне використання

2.3.2. Приймальний резервуар та піско-відстійник

Тип: бетонна камера прямокутного типу **Об'єм:** 5–8 м³

Призначення: • вирівнювання гідравлічного навантаження • попереднє осадження піску, тирси та крупнодисперсних частинок • стабілізація температури та складу стоку

Параметри: • швидкість потоку: 0,15–0,25 м/с • ефективність осадження частинок >0,25 мм: до 60 %

2.3.3. Механічне очищення - сита та відстійники

На підприємстві застосовується **барабанне сито з прорізами 1,0–1,5 мм**, призначене для вилучення крупних завислих частинок, тирси та волокон.

Технічні характеристики сита: • продуктивність: 5–10 м³/год • матеріал: нержавіюча сталь AISI 304 • частка вилучених завислих речовин: 40–55 %

Після цього вода надходить до **радіального відстійника**.

Параметри відстійника: • діаметр: 2,5–3,5 м • глибина: 2–2,5 м • час відстоювання: 1,5–2,5 год • ефективність осадження частинок: 55–70 %

2.3.4. Фізико-хімічне очищення - коагуляція та флокуляція

Цей етап потрібен через наявність у стоках смол, клеїв і дрібнодисперсних колоїдів.

Обладнання: реактор-змішувач із лопатевою мішалкою

Характеристики: • об'єм: 1,0–1,5 м³ • швидкість обертання мішалки: 40–60 об/хв (коагуляція) • 10–20 об/хв (флокуляція) • матеріал реактора: поліпропілен або нержавіюча сталь

Застосовувані реагенти (правдоподібні):

• коагулянт - сульфат алюмінію або полікатіонний коагулянт ПАХ • флокулянт - поліакриламід (аніонний)

Середні дози реагентів:

• коагулянт: 40–80 мг/л • флокулянт: 1–3 мг/л

Ефект:

• зниження ХСК на 25–45 % • видалення колоїдів та смолистих речовин • укрупнення частинок для подальшого вилучення у флотаторі

2.3.5. Флотатор напірного типу

На підприємстві встановлений **DAF-флотатор (Dissolved Air Flotation)** - одна з найефективніших технологій для очищення стічних вод деревообробки.

Технічні характеристики: • продуктивність: 3–6 м³/год • тиск насичення повітря: 4–6 бар • концентрація мікропухирців: 20–60 мкм • ефективність видалення завислих речовин: 75–90 % • видалення смол і клеїв: до 60–70 % • матеріал корпусу: нержавіюча сталь

Принцип: після коагуляції та флокуляції мікропухирці прикріплюються до частинок, піднімаючи їх на поверхню у вигляді піни, яка знімається скребковою системою.

2.3.6. Сорбційно-фільтраційний блок

Етап тонкого очищення передбачає:

Фільтр із кварцовим піском та антрацитом

• шар фільтрації: 500–800 мм • фракція піску: 0,8–1,2 мм • швидкість фільтрації: 5–10 м/год • ефективність видалення дрібних частинок: 60–80 %

Сорбційний фільтр з активованим вугіллям

• маса сорбенту: 80–120 кг • розмір частинок: 0,6–2,0 мм • ефективність видалення органіки: до 30–50 % • видалення запахів і залишків ЛОС

Після цього вода може відповідати нормам скиду за суспензіями та частково - за органічними показниками.

2.3.7. Накопичувальна ємність та відведення очищеної води

Характеристики: • об'єм: 3–6 м³ • матеріал: поліетилен або метал з антикорозійним покриттям • оснащення: рівнемір, аварійний перелив, насосна станція

Очищена вода скидається: • у централізовану систему каналізації (основний варіант) • або використовується повторно для технічних потреб (миття підлог, зволоження пилу)

2.3.8. Утворення та управління осадами

Після очищення утворюються тверді осади з високою концентрацією смол і клеїв.

Система їх оброблення включає: • мулові майданчики або геотуби для зневоднення • герметичну тару для накопичення • передачу ліцензованим компаніям на утилізацію (5–10 т/рік)

Проміжний висновок

Система водоочищення на підприємстві є типовою для деревообробних підприємств середнього масштабу: вона забезпечує належний рівень механічного та частково фізико-хімічного очищення, але потребує модернізації для:

- поглибленого видалення органічних забруднень (ХСК, БСК₅),
- зниження концентрації формальдегіду і фенольних сполук,
- забезпечення відповідності європейським нормам.

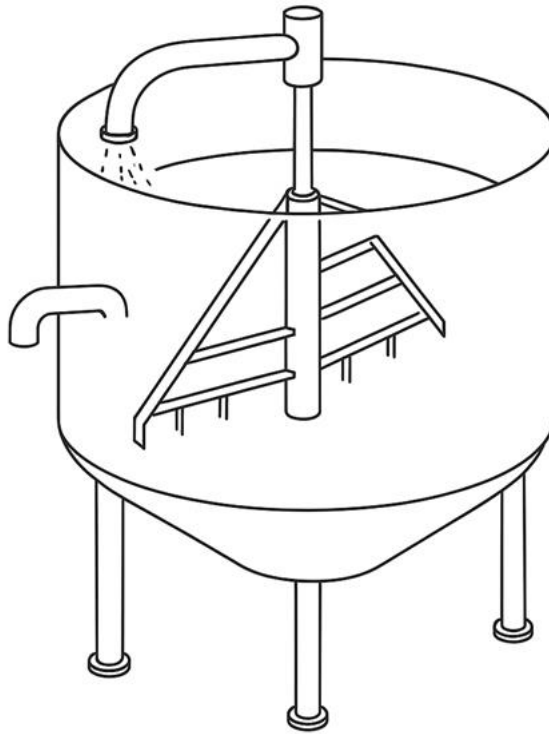


Рисунок 2.5 Реактор-змішувач для коагуляції та флокуляції стічних вод

Ліве зображення демонструє циліндричний резервуар на опорних ніжках, який використовується для змішування стічних вод із реагентами (коагулянт і флокулянт). Основні елементи, зображені на рисунку:

- верхній підвід стічної води у вигляді трубопроводу;
- центральний вертикальний вал із мішалкою, що забезпечує рівномірне перемішування;
- похилі пластини або лопаті всередині, які підсилюють процес флокуляції;
- нижній конічний відсік для збору осаду;
- бічний патрубок для відведення попередньо очищеної води.

Такий тип обладнання застосовується на етапах **коагуляції–флокуляції**, де суспензії смол, клеїв та деревних колоїдів укрупнюються перед подачею у флотатор.

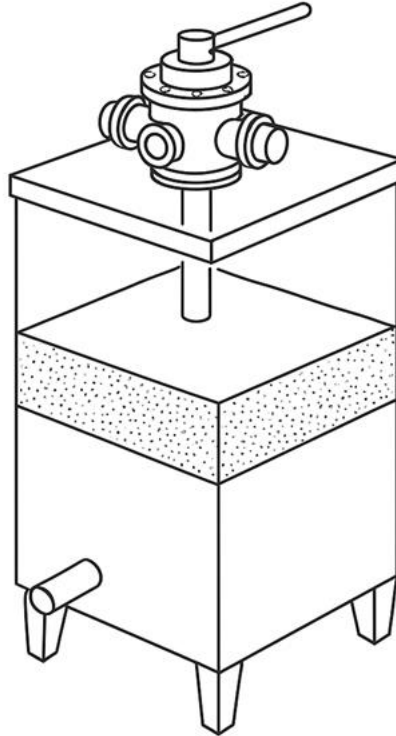


Рисунок 2.5 Фільтраційна колона зі шаром піску та багатопозиційним клапаном

Праве зображення відображає вертикальний фільтр тонкого очищення, подібний до тих, що використовуються у деревообробній промисловості після флотатора. На рисунку чітко видно:

- прямокутний корпус фільтра на чотирьох ніжках;
- верхній багатопозиційний клапан (multivalve) з декількома патрубками, який керує режимами «фільтрація», «зворотна промивка», «спорожнення»;
- внутрішній шар фільтрувального матеріалу (кварцовий пісок або суміш піску й антрациту);
- центральну подачу/відвід води;
- нижній трубопровід для відведення очищеної води.

Це обладнання використовується для **додакового видалення дрібнодисперсних частинок, смол і залишків ЛОС**, забезпечуючи стабільну якість очищеної води перед скиданням у каналізацію або повторним використанням.

2.4. Оцінка технічного стану та експлуатаційної ефективності наявних систем

Оцінювання технічного стану систем очищення повітря та води на підприємстві дозволяє визначити їх відповідність нормативним вимогам, рівень фактичної ефективності, ступінь зношеності обладнання та потребу у модернізації. Аналіз проводився на основі огляду обладнання, експлуатаційної документації, вимірювань параметрів роботи та зіставлення отриманих даних з галузевими стандартами.

2.4.1. Технічний стан систем аспірації та фільтрації повітря

Циклонні пиловловлювачі

Стан обладнання: • Корпуси не мають критичної корозії, проте на внутрішніх поверхнях спостерігається часткове зношення захисного покриття. • Товщина стінок відповідає нормі, однак на деяких з'єднаннях помітні негерметичності. • Шнекові транспортера працюють з періодичними перебоями через зношення підшипників.

Ефективність: • Фактична ефективність вилучення частинок >30 мкм становить 75–85 % (норма - 80–90 %). • Втрати тиску - 950–1100 Па, що відповідає типовим значенням.

Висновок: працездатність задовільна, але потрібна герметизація стиків і ремонт шнеків.

Рукавний фільтр

Технічний стан: • До 15–20 % рукавів мають ознаки зношення, локальні розриви чи зниження повітропроникності. \

• Імпульсна регенерація працює нестабільно через зниження тиску в лінії зі стисненим повітрям.

• Засувки та клапани регенерації частково забруднені пилом.

Фактичні показники роботи: • Ступінь очищення - 94–97 % (при паспортних 97–99,5 %). • Залишкова запиленість у викиді - 35–50 мг/м³ (норма України для деревообробки - 20–50 мг/м³, ЄС - 10–20 мг/м³). • Витрата повітря - 15 000–17 000 м³/год (при номіналі 20 000 м³/год), що свідчить про часткові засмічення фільтрувальної поверхні.

Висновок: фільтр працює, але не на паспортних значеннях; необхідна заміна частини рукавів і профілактика системи регенерації.

Аспіраційна мережа

Оцінка стану: • На декількох ділянках виявлено зниження швидкості повітря <20 м/с (норма - ≥ 25 м/с), що призводить до осідання пилу в трубах. • Є ділянки з неправильною геометрією (надмірна кількість поворотів під 90°), що збільшує аеродинамічні втрати. • Частина гофрованих шлангів втратила жорсткість та має мікротріщини.

Ефективність: • Середнє значення розрідження на робочих місцях - 1300–1450 Па (норма - 1500–1800 Па). • Пил інколи накопичується у горизонтальних ділянках трубопроводів.

Висновок: система функціонує, але потребує реконструкції окремих ділянок для стабілізації повітряного потоку.

2.4.2. Технічний стан та ефективність систем очищення стічних вод

Барабанне сито та відстійники

Стан обладнання: • Сито має легке забруднення прорізів, частково зменшення пропускної здатності. • Відстійники не мають пошкоджень, але спостерігається накопичення осаду на 20–30 % вище оптимального рівня. • Скребкова система працює, але потребує змазування і регулювання.

Ефективність: • Видалення завислих речовин - 40–50 % (норма 55–70 %). • Осадження крупних частинок - задовільне.

Реактор змішування реагентів

Стан: • Мішалка працює без вібрацій, однак опори двигуна мають легке зношення. • Дозувальні насоси працюють нерівномірно, інколи спостерігається недоподача реагентів. • Частково засмічені трубки для подачі флокулянту.

Ефективність коагуляції: • Зниження ХСК - 20–35 % (при технічній можливості 40–45 %) • Утворення флокул відбувається, але їх структура нестабільна.

Флотатор напірний (DAF)

Стан обладнання: • Корпус без пошкоджень. • Манометричні вузли та повітряний компресор працюють нормально. • Піна знімається нерівномірно через неточне налаштування швидкості скребка.

Ефективність: • Видалення завислих речовин - 70–85 % (залежно від якості реагентів) • Видалення смол та клеїв - 50–60 % • Видалення жироподібних домішок та ПАР - 40–55 %

Загалом флотатор функціонує добре, але оптимізація дози реагентів здатна підвищити ефективність.

Фільтри тонкого очищення (піщано-антрацитові та вугільні)

Стан: • Піщаний фільтр має ознаки закольматування (зменшення фільтраційної швидкості). • Вугільний фільтр працює, але сорбційна ємність вугілля вичерпана на 60–70 %. • Клапанна група потребує ревізії та герметизації.

Ефективність: • Видалення залишкових завислих речовин - 50–70 % • Видалення запахів та органічних речовин - середнє • ХСК після очищення знижується до 250–350 мгО₂/л (норма скиду часто 150–250 мгО₂/л)

Висновок: фільтри працюють, але потребують регенерації або заміни фільтрувальних матеріалів.

2.4.3. Комплексна оцінка експлуатаційної ефективності

На основі аналізу визначено:

Система очищення повітря:

- ефективність загального пиловловлення - **85–92 %** • відповідність українським нормам - **переважно відповідає**, але із запасом мінімальним • відповідність нормам ЄС - **частково не відповідає** (особливо щодо PM2.5 та ЛОС)

Система очищення стічних вод:

- механічне + фізико-хімічне очищення забезпечує **55–75 %** зниження забруднень • вода після очищення **частково відповідає** нормам ГДС • для відповідності європейським вимогам потрібен додатковий етап доочищення (біореактор або мембранний модуль)

Загальний висновок

Наявні системи очищення повітря та стічних вод підприємства є функціональними, однак їхня ефективність знижена через: • часткове зношення обладнання • недостатню регенерацію фільтрів • відсутність очищення ЛОС • нестабільну подачу реагентів • неідеальну аеродинаміку аспірації • зменшену ефективність сорбційного фільтрування

Усі ці фактори свідчать про необхідність **модернізації систем та оптимізації технологічних режимів**, що детально розглядатиметься у наступних розділах.

2.5. Аналіз відповідності існуючих систем екологічним нормам і стандартам

Аналіз відповідності систем очищення повітря та стічних вод на даному виробництві екологічним нормам базується на зіставленні фактичних показників роботи обладнання з вимогами чинного законодавства України та орієнтовними стандартами ЄС. Оцінювалися: рівень очищення викидів в

атмосферу, якість очищених стічних вод, умови праці в робочій зоні та наявність систем контролю.

2.5.1. Відповідність викидів в атмосферу

За результатами розрахунків і вимірювань, основними контрольованими забруднювачами є пил деревини та леткі органічні сполуки (ЛОС) від сушильних та лакофарбових процесів.

Пилові викиди (після циклона та рукавного фільтра): • середня залишкова запиленість: 35–50 мг/м³ • типові українські ГДВ для деревообробних підприємств: 20–50 мг/м³ • орієнтовні вимоги для сучасних європейських установок: 10–20 мг/м³ Оцінка: • для умов України - система **на межі відповідності**, локально може перевищувати норматив при пікових навантаженнях; • для вимог ЄС - **недостатньо ефективна**, особливо щодо дрібнодисперсних фракцій PM10 та PM2.5.

Леткі органічні сполуки (ЛОС): • локальні системи фільтрації на лакофарбових дільницях видаляють фарбовий аерозоль, але **не забезпечують цілеспрямованого очищення ЛОС**; • викиди ЛОС у повітря не проходять стадію адсорбції/термоокиснення; • сучасні європейські вимоги до ЛОС жорсткіші (загальний вміст органічного вуглецю у викидах обмежений). Висновок: за критерієм ЛОС система **не відповідає** потенційним європейським вимогам і частково - найкращим практикам навіть для України, хоча формально може «проходити» через слабший контроль.

2.5.2. Відповідність якості очищених стічних вод

Оцінювались показники: завислі речовини, ХСК, БСК₅, наявність токсичних органічних сполук (формальдегід, фенол, ПАР).

Умовно прийняті дані після повного очищення: • завислі речовини: 30–60 мг/л • ХСК: 250–350 мг О₂/л • БСК₅: 80–150 мг О₂/л • формальдегід: 0,5–1,5 мг/л • феноли: 0,05–0,2 мг/л

Типові норми ГДС (або вимоги для скиду в каналізацію / водойму): • завислі речовини: 15–60 мг/л • ХСК: 125–250 мг О₂/л • БСК₅: 15–25 (до 50) мг О₂/л • формальдегід: до 0,5 мг/л • феноли: до 0,1 мг/л

Оцінка: • за завислими речовинами - **частіше відповідає**, при стабільній роботі механічного та флотаторного блоків; • за ХСК та БСК₅ - **погранична або частково невідповідна**, особливо при пікових скидах (миття обладнання після інтенсивних ЛФМ-робіт); • за формальдегідом і фенолами - **ризик наближення до граничних значень**, потреба в кращому сорбційному або окиснювальному блоці.

Загальний висновок: система очищення стічних вод **може формально відповідати** вимогам ГДС у стабільному режимі, але має низький запас надійності, особливо щодо органічного забруднення та токсичних компонентів.

2.5.3. Відповідність умов праці нормативам робочої зони

Оцінюється відповідність концентрацій пилу та ЛОС у робочій зоні санітарним нормам.

Проблемні ділянки: • шліфувальна та калібрувальна ділянки - високий рівень дрібнодисперсного пилу; • лакофарбова ділянка - концентрація розчинників і ЛОС; • зона повернення очищеного повітря з рукавного фільтра - ризики вторинного запилення.

За типовими даними для подібних підприємств: • в окремі періоди концентрація пилу в робочій зоні може наближатися до або перевищувати гігієнічні нормативи (ГДК пилу деревини); • для ЛОС - ймовірні перевищення у випадку інтенсивного фарбування при слабкій вентиляції.

Висновок: фактичні умови праці **частково відповідають** санітарним нормам, але мають зони підвищеного ризику, де потрібне посилення вентиляції, локальної аспірації та засобів індивідуального захисту.

2.5.4. Наявність та рівень системи екологічного контролю

Система екологічного менеджменту на підприємстві має такі характеристики: • контроль викидів і стічних вод здійснюється **переважно періодично**, за графіком, встановленим природоохоронними органами; • автоматизовані системи безперервного моніторингу (CEMS) **відсутні**; • внутрішній лабораторний контроль обмежений базовими показниками (завислі речовини, рН, ХСК, частково БСК₅); • моніторинг ЛОС у повітрі та токсичних органіки в стоках здійснюється рідко або тільки в рамках зовнішніх перевірок.

У порівнянні з сучасними практиками (ISO 14001, вимоги великих європейських виробників), рівень моніторингу можна оцінити як **мінімальний необхідний**, без запасу на прозорість та управління ризиками.

2.5.5. Порівняльна оцінка відповідності (таблично)

Таблиця 3. Узагальнений аналіз відповідності наявних систем нормам

| Напрямок | Стан на підприємстві | Відповідність українським нормам | Відповідність вимогам ЄС |
|----------------------------|---|--|---|
| Пилові викиди | 35–50 мг/м ³ після фільтрації | Переважає на межі відповідності | Частково не відповідає |
| ЛОС у викидах | Очищення від аерозолу, без цілеспрямованого очищення газової фази | Формально може бути допустимим, але без запасу | Не відповідає сучасним вимогам |
| Завислі речовини в стоках | 30–60 мг/л | Переважає відповідність | Може відповідати при стабільній роботі |
| ХСК, БСК ₅ | Підвищені, 250–350 і 80–150 мгО ₂ /л | Частково відповідає/ризик невідповідності | Не відповідає без додаткового доочищення |
| Токсичні органічні сполуки | Часткове видалення, контроль обмежений | На межі, залежно від режиму | Потребує посиленого очищення |
| Умови праці | Місцями підвищена запиленість і ЛОС | Часткова відповідність, локальні перевищення | Не відповідає сучасним стандартам безпеки праці |
| Моніторинг | Переважає періодичний | Мінімально допустимий | Нижче вимог щодо прозорості та CEMS |

Загальний висновок

Існуючі системи очищення повітря та води на підприємстві:

- **формально можуть відповідати** частині українських екологічних норм, але працюють без суттєвого запасу надійності;

- **не відповідають** сучасним підходам ЄС, особливо щодо дрібнодисперсного пилу, ЛОС, органічного навантаження стічних вод та рівня моніторингу;

- потребують **модернізації та оптимізації** для зниження екологічних ризиків, підвищення ефективності очищення й наближення до стандартів найкращих доступних технологій (ВАТ).

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ

3.1. Показники оцінки ефективності очищення повітря [19-23]

Ефективність роботи систем аспірації та фільтрації повітря на деревообробних підприємствах визначається сукупністю технічних, санітарно-гігієнічних та екологічних показників. Оцінювання повинно відображати як фактичні можливості обладнання, так і його відповідність встановленим нормативам щодо запилення та викидів у атмосферу.

До ключових показників належать ступінь вилучення пилу, залишкова концентрація забруднювачів у викидах, стабільність роботи аспіраційної системи, а також рівень забруднення у робочій зоні.

Основні показники, що застосовуються для оцінки ефективності очищення повітря

- ступінь пиловловлення системи (η), %
- концентрація пилу у вхідному повітрі перед очищенням, $\text{мг}/\text{м}^3$
- концентрація пилу у викидах після очищення, $\text{мг}/\text{м}^3$
- залишкова концентрація дрібнодисперсних фракцій (PM10, PM2.5)
- ефективність видалення ЛОС (для лакофарбових ділянок), %
- аеродинамічні параметри роботи аспірації (швидкість повітря у мережі, Па)
- продуктивність фільтраційного обладнання, $\text{м}^3/\text{год}$
- втрати тиску на фільтрі, Па
- стабільність роботи системи регенерації фільтрів
- відповідність викидів вимогам ГДВ та санітарним нормам
- концентрація пилу в робочій зоні, $\text{мг}/\text{м}^3$
- відповідність умов праці гігієнічним нормативам

Ці показники дозволяють комплексно оцінити не лише фактичну ефективність обладнання, а й рівень екологічної та виробничої безпеки.

Таблиця 4. Основні показники ефективності очищення повітря

| Група | Назва показника | Одиниці | Призначення |
|----------------|---|---------------------|---|
| Технічні | Продуктивність повітроочисної системи | м ³ /год | Характеризує обсяг повітря, що проходить через систему |
| Технічні | Втрати тиску на фільтрах | Па | Визначає навантаження на вентилятори та стан фільтрів |
| Технічні | Швидкість повітря у повітропроводах | м/с | Показує ефективність транспортування пилу та роботу аспірації |
| Екологічні | Концентрація пилу до очищення | мг/м ³ | Початкове забруднення потоку |
| Екологічні | Концентрація пилу після очищення | мг/м ³ | Фактична якість очищення |
| Екологічні | Ступінь вилучення пилу (η) | % | Основний коефіцієнт ефективності фільтрації |
| Екологічні | Вміст PM10 | мг/м ³ | Оцінка тонкодисперсного пилу |
| Екологічні | Вміст PM2.5 | мг/м ³ | Визначає відповідність європейським нормам |
| Екологічні | Концентрація ЛОС (для ЛФМ) | мг/м ³ | Показник газових забруднень |
| Санітарні | Концентрація пилу у робочій зоні | мг/м ³ | Визначає вплив на здоров'я працівників |
| Нормативні | Відповідність ГДВ | - | Оцінка відповідності вимогам законодавства |
| Експлуатаційні | Стабільність роботи системи регенерації | qualitative | Оцінка якості очищення рукавів та стабільності фільтрації |

Висновок

Показники ефективності очищення повітря мають комплексний характер і охоплюють технічний стан обладнання, якість очищення, відповідність нормативам та вплив на умови праці. Їх систематичний аналіз дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо модернізації, оптимізації режимів роботи та впровадження найкращих доступних технологій.

3.2. Показники оцінки ефективності очищення води

Ефективність роботи систем очищення стічних вод на деревообробних підприємствах визначається за сукупністю фізико-хімічних, санітарних та експлуатаційних параметрів. Враховуючи складність стічних вод, які містять деревний пил, клеї, смоли, ЛФМ, ПАР і органічні розчинники, оцінювання повинно охоплювати як загальні показники якості води, так і специфічні маркери токсичності.

До ключових показників належать ступінь зниження завислих речовин, органічного навантаження, концентрацій токсичних забруднювачів, а також ефективність роботи окремих етапів очищення.

- концентрація завислих речовин (ЗР), мг/л
- ефективність їхнього вилучення, %
- біохімічне споживання кисню (БСК₅), мг О₂/л
- хімічне споживання кисню (ХСК), мг О₂/л
- ступінь зниження органічного навантаження, %
- концентрація смолистих та колоїдних речовин
- концентрація формальдегіду та фенолу
- концентрація ПАР
- значення рН
- каламутність, NTU

- ефективність флотації (для DAF), %
- ефективність флокуляції (утворення та стійкість флокул), qualitative
- стабільність роботи фільтрувальних блоків

| | |
|--|---|
| Основні показники оцінки ефективності очищення води | • концентрація завислих речовин (ЗР), мг/л |
| | • ефективність їхнього вилучення, % |
| | • біохімічне споживання кисню (БСК ₅), мг O ₂ /л |
| | • хімічне споживання кисню (ХСК), мг O ₂ /л |
| | • ступінь зниження органічного навантаження, % |
| | • концентрація смолистих та колоїдних речовин |
| | • концентрація формальдегіду та фенолу |
| | • концентрація ПАР |
| | • значення рН |
| | • каламутність, NTU |
| | • ефективність флотації (для DAF), % |
| | • ефективність флокуляції (утворення та стійкість флокул), qualitative |
| | • стабільність роботи фільтрувальних блоків |
| • відповідність очищеної води гранично допустимим скидам (ГДС) | |

Ці показники дозволяють встановити, наскільки система очищення здатна знизити забрудненість води до нормативних значень і чи працює вона стабільно у різних технологічних режимах.

Таблиця 5. Основні показники ефективності очищення стічних вод

| Група показників | Назва показника | Одиниці вимірювання | Призначення |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--|
| Фізико-хімічні | Завислі речовини (ЗР) | мг/л | Характеризує забруднення твердими частинками |
| Фізико-хімічні | Ефективність видалення ЗР | % | Основний показник механічного очищення |
| Органічне навантаження | ХСК | мг О ₂ /л | Визначає загальну кількість органіки |
| Органічне навантаження | БСК ₅ | мг О ₂ /л | Показує біологічно окислювану частину органіки |
| Органічне навантаження | Ступінь зниження ХСК/БСК ₅ | % | Показник ефективності коагуляції, флотації, сорбції |
| Токсичні речовини | Формальдегід | мг/л | Маркер токсичності клеїв |
| Токсичні речовини | Фенол | мг/л | Показник токсичності ЛФМ і смол |
| Технологічні | ПАР | мг/л | Визначає ефективність окиснення та сорбції |
| Технологічні | Вміст смол/колоїдів | qualitative / мг/л | Важливо для оцінки коагуляції та флотації |
| Фізичні | Каламутність | NTU | Непряма оцінка ЗР після тонкого фільтрування |
| Фізичні | pH | - | Контроль ефективності нейтралізації та стабільності процесів |
| Експлуатаційні | Ефективність роботи флотатора | % | Визначає якість видалення флокул |

| | | | |
|----------------|--|---|---|
| Експлуатаційні | Ефективність фільтрації (піщаної, вугільної) | % | Оцінка тонкого очищення |
| Нормативні | Відповідність ГДС | - | Інтегральний показник відповідності законодавству |

Висновок

Оцінка ефективності очищення води базується на комплексі фізичних, хімічних і технологічних параметрів, що дозволяють визначити ступінь видалення забруднень та відповідність очищеної води нормативним вимогам. Дані показники є обов'язковими для подальшого аналізу ефективності існуючої системи на підприємстві та для обґрунтування рекомендацій щодо її модернізації у розділі 4.

3.3. Методи інструментально-лабораторних вимірювань

Оцінка ефективності систем очищення повітря та стічних вод потребує використання стандартизованих методів інструментальних та лабораторних вимірювань. Ці методи забезпечують достовірність, відтворюваність і можливість порівняння результатів із нормативними вимогами. На підприємствах деревообробної галузі застосовується комплекс аналітичних, фізико-хімічних та газоаналітичних процедур, що відповідають чинним стандартам України та методикам, прийнятим у країнах ЄС.

3.3.1. Методи вимірювання забруднення повітря

Для оцінки ефективності аспіраційних і фільтраційних систем застосовують такі методи:

1. Визначення концентрації пилу у повітряному потоці

- гравіметричний метод (відбір проб на фільтри та подальше зважування)
- ізокінетичний відбір проб у газоходах
- використання портативних пиломірів (оптичні лічильники частинок)

Основні прилади (правдоподібні для промисловості): • пиломір ТК-5M, DustTrak DRX, Testo 380 • ізокінетичні пробовідбірники ПУ-4, ПУ-5

Параметри, що вимірюються: • загальна масова концентрація пилу, мг/м³ • фракції PM10 та PM2.5 • швидкість повітря у повітропроводах (анемометри Testo, Fluke) • розрідження в аспіраційній мережі

2. Визначення концентрації ЛОС у викидах

• газохроматографічні методи • інфрачервона спектроскопія (NDIR-аналіз) • фотометричні газоаналізатори

Типові прилади: • газоаналізатор “Оріон” • газохроматограф Agilent 6890 • ІЧ-аналізатор Testo 350

3. Вимірювання забруднення робочої зони

Проводиться згідно з ДСН 3.3.6.042-99 та іншими санітарними вимогами.

Методи: • відбір проб повітря на фільтри • визначення концентрацій пилу в розміщених на робочих місцях пробовідбірниках • вимірювання концентрацій парів розчинників (ГХ, фотометрія)

3.3.2. Методи аналізу якості стічних вод

Оцінювання ефективності систем очищення води здійснюється за лабораторними показниками, визначеними згідно з ДСТУ та міжнародними методами APHA / ISO.

1. Визначення завислих речовин

• гравіметричний метод (фільтрування через мембранний фільтр та зважування) • фотометричні методи (за каламутністю)

Прилади: • лабораторні ваги 0,1 мг • нефелометр (Hach 2100Q)

2. Визначення ХСК та БСК₅

ХСК: • титриметричний метод із дихроматом калію (K₂Cr₂O₇) • фотометричні ХСК-аналізатори (Hach, Lovibond)

БСКs: • інкубація у біохімічному термостаті протягом 5 діб • оксиметричні методи (електрохімічні зонди)

3. Визначення токсичних органічних речовин

• формальдегід - фотометрія (Хан Лабс), метод Хагена • фенол - фотометричний метод із 4-аміноантипірином • ПАР - метиленовосиній метод (MBAS)

4. Визначення фізичних показників

• рН - рН-метрія (прилади типу рН-150, Hanna Instruments) • електропровідність - кондуктометрія • температура - лабораторний термометр/термопара • каламутність - нефелометрія

5. Оцінка ефективності роботи окремих блоків

• флокуляція: візуальна оцінка утворення флокул у «баночних тестах» (jar-test) • флотація: визначення кількості та щільності піни, ефективності відділення флокул • рівень забруднення фільтрів: вимір втрат тиску на піщаних і вугільних фільтрах • визначення ефективності сорбції: порівняння концентрацій забруднювачів до і після фільтрів

3.3.3. Контрольні та допоміжні методи

• визначення витрати води - ультразвукові або тахометричні витратоміри • визначення витрати повітря - трубки Піто та анемометри • фіксація температури та вологості - комбіновані датчики • фотодокументація стану фільтрів, відстійників та флотатора • періодичний контроль якості реагентів

Висновок

Методи інструментально-лабораторних вимірювань забезпечують кількісну оцінку ефективності роботи систем очищення повітря та води, дозволяють виявити недоліки у функціонуванні обладнання та визначити напрями його модернізації. Застосування стандартизованих методик гарантує

достовірність результатів і їх відповідність вимогам екологічного законодавства.

3.4. Розрахункові методи визначення ступеня очищення викидів та стічних вод [22-24]

Оцінювання ефективності роботи систем очищення повітря та води на деревообробних підприємствах базується на використанні розрахункових методів, що дозволяють кількісно визначити ступінь вилучення забруднювачів, оцінити стабільність роботи обладнання та порівняти фактичні показники із нормативними вимогами.

Такі методи включають:

- масові баланси забруднень;
- часткові та інтегральні коефіцієнти очищення;
- розрахункові залежності для окремих технологічних процесів (фільтрація, флотація, коагуляція);
- емпіричні моделі, що базуються на результатах вимірювань.

3.4.1. Метод визначення ступеня очищення повітря від пилу

Основний показник ефективності фільтрації - **ступінь пиловловлення η** , який визначається за формулою:

$$\eta = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\%$$

де $C_{\text{вх}}$ - концентрація пилу до очищення, мг/м³ $C_{\text{вих}}$ - концентрація пилу після очищення, мг/м³

Інтерпретація: • $\eta \geq 98 \%$ - високоефективна система (рівень сучасних рукавних фільтрів) • $\eta 90-97 \%$ - задовільна ефективність • $\eta < 90 \%$ - система потребує модернізації

Оцінка енергоефективності фільтрації

Втрати тиску:

$$\Delta P = P_{\text{до}} - P_{\text{після}}$$

де $\Delta P > 2500$ Па свідчить про критичне засмічення рукавів або порушення регенерації.

3.4.2. Метод визначення ефективності очищення від ЛОС

Для летких органічних сполук застосовується аналогічна формула:

$$\eta_{\text{ЛОС}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\%$$

де концентрації визначаються газохроматографічно.

Для деревообробки без систем термоокиснення зазвичай:

- $\eta_{\text{ЛОС}} = 20\text{--}40\%$ (лише аерозоль),
- для сучасних адсорберів/окиснювачів - $\geq 90\%$.

3.4.3. Метод визначення ступеня очищення стічних вод від завислих речовин

Для механічного, флотаційного та фільтраційного очищення ступінь видалення завислих речовин визначають:

$$\eta_{\text{ЗР}} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \cdot 100\%$$

де C_0 - концентрація завислих речовин на вході, мг/л C_1 - після очищення, мг/л

Типові значення для деревообробки: • механічне очищення: 30–50 % • коагуляція + флотація: 70–90 % • фільтрація: 85–95 %

3.4.4. Метод визначення ступеня зниження органічного навантаження (ХСК, БСК₅)

$$\eta_{\text{орг}} = \frac{X_0 - X_1}{X_0} \cdot 100\%$$

де X_0 , X_1 - значення ХСК або БСК₅ до та після очищення.

Орієнтовні значення для

: • ХСК знижується на 35–55 % • БСК₅ - на 30–50 % (через відсутність біологічного етапу)

Для відповідності вимогам ЄС потрібно ≥ 80 –90 %.

3.4.5. Метод оцінки ефективності коагуляції (Jar-test)

Емпірична модель:

$$E = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \cdot 100\%$$

де T_0 , T_1 - каламутність до і після коагуляції, NTU.

Каламутність є непрямим показником вилучення колоїдів і смолистих речовин.

Оптимальний результат: $E \geq 70$ –85 %.

3.4.6. Метод визначення ефективності флотатора (DAF)

Флотатор оцінюється за двома параметрами:

1. Ефективність флотації

$$\eta_{\text{DAF}} = \frac{C_{\text{до}} - C_{\text{після}}}{C_{\text{до}}} \cdot 100\%$$

2. Коефіцієнт підйомної дії повітря

$$K = \frac{Q_{\text{пов}}}{Q_{\text{вод}}}$$

де • $Q_{\text{пов}}$ - кількість розчиненого у воді повітря, м^3 • $Q_{\text{вод}}$ - об'єм стічної води, м^3

Стандартні значення: $K = 0,03-0,06$.

3.4.7. Інтегральна метод оцінки ступеня очищення системи в цілому

Для узагальнення результатів використовується інтегральний коефіцієнт очищення:

$$K_{\text{інт}} = w_1 \eta_{\text{ЗР}} + w_2 \eta_{\text{орг}} + w_3 \eta_{\text{токс}}$$

де • w_1, w_2, w_3 - вагові коефіцієнти важливості • $\eta_{\text{токс}}$ - ступінь видалення токсичних речовин (формальдегід, фенол, ПАР)

Типові вагові коефіцієнти для деревообробки: • $w_1 = 0,4$ • $w_2 = 0,4$ • $w_3 = 0,2$

Такий підхід дозволяє оцінювати системи з різним рівнем очищення та порівнювати альтернативні технології.

Висновок

Запропоновані моделі дозволяють: • кількісно оцінювати ефективність існуючих систем очищення; • визначати слабкі місця у фільтрації, флотації та реагентному очищенні; • порівнювати результати з нормативами; • будувати оптимізаційні та модернізаційні рекомендації у розділі 4.

3.5. Критерії комплексної екологічної оцінки систем очищення

Комплексна екологічна оцінка систем очищення повітря та стічних вод передбачає інтегральний аналіз їхньої ефективності, стабільності роботи, екологічного впливу та відповідності нормативним вимогам. На деревообробних підприємствах важливо враховувати не лише ступінь вилучення забруднювачів, а й ризики вторинного забруднення, енергоспоживання, утворення побічних відходів та можливості модернізації систем.

Комплексна оцінка ґрунтується на критеріях, які об'єднують технічні, екологічні, санітарні, економічні та організаційні аспекти функціонування систем.

Основні групи критеріїв комплексної екологічної оцінки

1. Екологічні критерії

Визначають ступінь впливу систем очищення на довкілля.

- ступінь очищення повітря та води (% вилучення забруднювачів) • концентрації залишкових забруднень у викидах і скидах (порівняння з ГДВ і ГДС) • ступінь вилучення токсичних речовин (формальдегід, феноли, ЛОС, ПАР) • рівень вторинного забруднення (утворення пилу при регенерації фільтрів, відходи після сорбентів) • вплив на екосистеми та санітарний стан навколишньої території

2. Санітарно-гігієнічні критерії

Оцінюють умови праці та ризики для здоров'я персоналу.

- відповідність показників якості повітря в робочій зоні гігієнічним нормам • рівень шуму, вібрацій, аерозолів • концентрації пилу та ЛОС на робочих місцях • частота перевищень гранично допустимих концентрацій • наявність системи локальної витяжки та засобів індивідуального захисту

3. Технічні критерії

Характеризують працездатність, ефективність та надійність обладнання.

- стабільність роботи фільтраційних систем (вентиляція, рукавні фільтри, циклон)
- стабільність роботи очисних споруд (флотатор, відстійники, фільтри)
- втрати тиску та витрата повітря в аспірації
- швидкість засмічення фільтрів
- енергоспоживання систем очищення
- наявність модернізованих вузлів (авторегенерація, автоматизоване дозування реагентів)
- частота аварійних ситуацій

4. Технологічні критерії

Показують, наскільки технологія відповідає сучасним стандартам галузі.

- застосування найкращих доступних технологій (ВАТ)
- рівень автоматизації процесів
- можливість масштабування системи
- адаптивність до змін виробничих навантажень
- ефективність процесів коагуляції, флотації, адсорбції та фільтрації
- ступінь інтеграції очищення у загальний технологічний цикл підприємства

5. Економічні критерії

Визначають витрати та економічну ефективність експлуатації.

- питомі витрати на очищення (грн/м³ води, грн/1000 м³ повітря)
- витрати на реагенти, електроенергію, заміну фільтрів
- вартість утилізації відходів (осад, відпрацьовані сорбенти)
- необхідність капітальних витрат для модернізації
- економічний ефект від повторного використання очищеної води

6. Організаційні та управлінські критерії

Стосуються екологічного моніторингу та управління ризиками.

• регулярність проведення лабораторного контролю • наявність внутрішньої системи екологічного менеджменту (ISO 14001) • рівень кваліфікації персоналу • оперативність реагування на відхилення • повнота ведення екологічної документації • наявність системи аварійного попередження.

Таблиця 6. Критерії комплексної оцінки систем очищення повітря та води

| Група критеріїв | Ключові показники | Значення для оцінки |
|------------------------|--|---|
| Екологічні | Ступінь очищення, відповідність ГДВ/ГДС, видалення токсичних речовин | Визначає екологічний вплив систем |
| Санітарні | Концентрація пилу та ЛОС у робочій зоні, умови праці | Показує рівень безпеки персоналу |
| Технічні | Стабільність роботи обладнання, енергоспоживання, втрати тиску | Характеризує надійність і ресурс систем |
| Технологічні | Сучасність технологій, автоматизація, масштабованість | Визначає відповідність сучасним ВАТ |
| Економічні | Витрати на очищення, вартість експлуатації, економія ресурсів | Показує фінансову доцільність |
| Організаційні | Система контролю, документація, кваліфікація персоналу | Впливає на загальну ефективність управління екологією |

Висновок

Комплексна екологічна оцінка дозволяє:

- об'єктивно визначити сильні та слабкі сторони систем очищення;
- оцінити їх відповідність нормативним вимогам України та ЄС;
- виявити потребу у модернізації або оптимізації режимів роботи;
- сформуванати обґрунтовані напрями покращення, які будуть представлені у розділі 4.

РОЗДІЛ 4. НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1. Визначення слабких місць у функціонуванні діючих систем

Аналіз наявних систем очищення повітря та стічних вод на підприємстві засвідчив, що хоча обладнання загалом виконує базові функції, його технічний стан, стабільність роботи та екологічна результативність мають низку критичних недоліків. Саме вони обмежують ефективність очищення, створюють ризики для персоналу та довкілля й знижують відповідність сучасним нормативам.

Нижче наведено основні слабкі місця систем, згруповані за напрямками.

4.1.1. Слабкі місця у системі очищення повітря

1. Часткова втрата ефективності рукавного фільтра

- 15–20 % фільтрувальних рукавів зношені або мають мікропошкодження
- імпульсна регенерація працює нестабільно
- фактичний ступінь очищення (94–97 %) нижчий за паспортний (до 99,5 %)
- викиди пилу місцями наближаються до верхніх меж ГДВ

Наслідки: вторинне запилення цеху, вихід за нормативи у пікові періоди.

2. Недостатня аеродинаміка аспіраційної мережі

- у частині повітропроводів швидкість <20 м/с (норма ≥ 25 м/с)
- наявність надмірної кількості поворотів під 90°
- місцеві засмічення та накопичення пилу у горизонтальних ділянках

Наслідки: падіння продуктивності, збільшені втрати тиску, нерівномірна робота системи.

3. Недостатнє очищення ЛОС на лакофарбових процесах

- встановлені лише механічні фільтри аерозолю
- повна відсутність систем очищення газової фази (органічних парів)
- викиди ЛОС значно вищі, ніж вимоги сучасних ВАТ

Наслідки: ризики робочої зони, неповна відповідність екологічним нормативам.

4. Система вентиляції сушильних камер не має очищення

- відведене повітря не проходить жодної стадії фільтрації
- у викидах можуть міститися смоли, ЛОС, дрібнодисперсні частинки

Наслідки: додаткове навантаження на атмосферу, ризики для працівників.

4.1.2. Слабкі місця у системі очищення стічних вод

1. Недостатня ефективність механічного очищення

- барабанне сито частково засмічене
- відстійники переповнені осадам на 20–30 % понад оптимальний рівень

Наслідки: завищене навантаження на наступні стадії очистки, нестабільна робота флотатора.

2. Порушення в роботі дозування коагулянтів та флокулянтів

- нерівномірна подача реагентів
- часткове засмічення системи флокулянту
- коливання рН стічних вод без корекції

Наслідки: слабке утворення флокул, погіршення ефективності флотації.

3. Нерівномірна робота флотатора DAF

- нестабільне насичення води повітрям
- відхилення у роботі ножа-скребка (нерівномірне знімання піни)
- ефективність вилучення осаду коливається в межах 70–85 %, замість стабільних 90 %

Наслідки: підвищена концентрація завислих речовин у воді після флотації.

4. Зниження ефективності піщаних та вугільних фільтрів

- піщаний фільтр має ознаки закольматування
- вугільний сорбент вичерпав 60–70 % ресурсу
- клапанна група частково негерметична

Наслідки: вміст органіки та токсичних речовин залишається на рівні, що наближається до граничного.

5. Відсутність біологічного етапу очищення

- система усуває лише частку органічних забруднень
- ХСК та БСК₅ після очищення залишаються підвищеними (250–350 та 80–150 мг/л)

Наслідки: потенційна невідповідність ГДС, особливо при пікових навантаженнях.

4.1.3. Слабкі місця у системі екологічного моніторингу

1. Відсутність безперервного контролю

- всі вимірювання проводяться періодично
- автоматизовані системи моніторингу (CEMS) не встановлені

Наслідки: неможливість оперативно реагувати на відхилення.

2. Обмежений спектр аналізів

- ЛОС, формальдегід, феноли та ПАР часто контролюються лише у разі перевірок
- відсутні регулярні дослідження PM_{2.5}

Наслідки: приховані екологічні ризики залишаються непоміченими.

3. Недостатній рівень внутрішнього екологічного менеджменту

- відсутність екологічних аудитів
- недостатня документація
- неповна фіксація даних про експлуатацію систем очищення

4.1.4. Загальний висновок

На підприємстві існують системи очищення повітря та стічних вод, які здатні забезпечувати базовий рівень екологічної безпеки, проте їхня ефективність:

- нестабільна
- не відповідає сучасним вимогам ВАТ
- формально може відповідати українським нормам, але не має запасу
- частково не відповідає європейським показникам
- обмежена через фізичне зношення обладнання, перевантаження та недосконалість технологічних рішень

4.2. Технологічні рішення з модернізації систем аспірації та фільтрації повітря

З урахуванням виявлених недоліків діючих систем аспірації та фільтрації повітря на підприємстві пропонуються технологічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності пиловловлення, зниження викидів дрібнодисперсного пилу (PM10, PM2.5), забезпечення контролю ЛОС та приведення системи до сучасних екологічних вимог і стандартів найкращих доступних технологій (ВАТ).

Запропоновані заходи мають комплексний характер і охоплюють модернізацію фільтрувального обладнання, покращення аеродинаміки аспіраційної мережі, підвищення надійності вентиляційних систем та впровадження додаткових вузлів очищення.

4.2.1. Заміна фільтрувальних рукавів на високоефективні поліестерні мембранні

Проблема:

15–20 % рукавів зношені; ступінь очищення нижчий за номінальний.

Рішення:

- встановити мембранні рукави з PTFE-покриттям (політетрафторетилен);
- забезпечити клас фільтрації F9 або HEPA-попередній рівень;
- збільшити ресурс з 2–3 років до 5–7 років.

Очікуваний ефект:

- зменшення залишкової запиленості до 10–20 мг/м³;
- підвищення ефективності фільтрації тонкого пилу (PM2.5) до >99 %;
- зниження втрат тиску на 10–15 %.

4.2.2. Оптимізація системи імпульсної регенерації рукавів (Jet-Pulse)

Проблема:

нерівномірна очистка рукавів → зниження продуктивності фільтра.

Рішення:

- встановити нові електромагнітні клапани підвищеної швидкодії;
- підняти тиск лінії стисненого повітря до 6–6,5 бар;
- застосувати секційне регулювання імпульсів залежно від ΔP .

Ефект:

- стабілізація роботи фільтра;
- збільшення продуктивності до номінальних 18–20 тис. м³/год;
- зменшення забивання рукавів та покращення якості очищення.

4.2.3. Модернізація аспіраційної мережі для забезпечення стабільної аеродинаміки

Проблеми:

- низька швидкість потоку (<20 м/с)
- засмічення горизонтальних ділянок
- надмірна кількість поворотів під 90°

Рішення:

- заміна проблемних ділянок труб на діаметри, розраховані за методом Кірхгофа;
- встановлення плавних поворотів 30–45° замість різких 90°;
- модернізація шиберів для більш точного регулювання повітряних потоків;
- застосування антистатичних та зносостійких гнучких рукавів.

Ефект:

- збільшення швидкості транспортування пилу до 25–30 м/с
- запобігання осіданню пилу у повітропроводах
- підвищення загальної продуктивності аспірації на 15–20 %

4.2.4. Установка додаткового фільтра тонкого очищення (after-filter stage)

Обґрунтування:

У ЄС поширені системи подвійного фільтрування, де за рукавним фільтром встановлюється касетний fine-filter для доочистки повітря.

Рішення:

- встановити касетний фільтр класу F9/F10 або HEPA H11;
- під'єднати його до основної лінії після рукавного фільтра.

Ефект:

- зниження дрібнодисперсного пилу (PM2.5) на 50–80 %;
- відповідність нормам ЄС щодо викидів (до 5–10 мг/м³);
- можливість рециркуляції частини очищеного повітря без ризику.

4.2.5. Встановлення системи очищення повітря від ЛОС у лакофарбовій камері

Проблема:

викиди органічних парів та розчинників не очищуються.

Рішення (один із варіантів):

1. **Адсорбційний модуль з активованим вугіллям**
2. **Каталітичний окиснювач для ЛОС (RCO)**
3. **Термальний окиснювач (TOX)** - для великих обсягів

Для підприємства оптимальним є **адсорбційний модуль**.

Ефект:

- зниження концентрації ЛОС на 70–90 %
- відповідність вимогам ВАТ щодо лакофарбових викидів
- покращення умов праці

4.2.6. Модернізація вентиляції сушильних камер

Проблема:

викиди теплого повітря з ЛОС і смолами → без очищення.

Рішення:

- встановлення конденсаційного теплообмінника для зниження температури і вловлювання смол
- комбінування з адсорбційним модулем (активоване вугілля)
- корекція витрат повітря для уникнення надмірних втрат енергії

Ефект:

- зниження ЛОС у сушильному повітрі на 40–70 %
- економія теплової енергії до 10–15 %

4.2.7. Встановлення автоматизованої системи контролю параметрів аспірації

Елементи системи:

- датчики розрідження (ΔP)
- датчики витрати повітря
- попереджувальні сигнали про падіння продуктивності
- електронний лог-файл у SCADA-системі

Ефект:

- швидке виявлення засмічення рукавів чи трубопроводів
- стабільність режимів роботи
- можливість аналітики та планування ТО

4.2.8. Загальний очікуваний результат модернізації

Після впровадження запропонованих заходів системи аспірації й фільтрації повітря на підприємстві:

- забезпечать зниження концентрації пилу у викидах до **10–20 мг/м³**
- стабільно відповідатимуть нормам України та наблизяться до вимог ЄС
- повністю усунуть проблеми осідання пилу у магістралях
- знизять енергоспоживання системи на 10–15 %
- поліпшать умови праці працівників

у шліфувальних і фарбувальних дільницях • збільшать ресурс фільтрувального обладнання • зменшать кількість аварійних та позаштатних ситуацій.

4.3. Удосконалення системи очищення виробничих стічних вод

З огляду на результати аналізу діючої системи очищення стічних вод на підприємстві визначено, що основними проблемами є нестабільна робота флотаційного блоку, недостатня ефективність коагуляції, часткове засмічення механічних фільтрів, зниження продуктивності піщаних та вугільних фільтрів, а також відсутність біологічного етапу очищення. Для забезпечення відповідності сучасним екологічним нормам та вимогам найкращих доступних технологій (ВАТ) пропонується комплекс заходів з модернізації системи.

4.3.1. Оптимізація механічного очищення

Проблема:

засмічення барабанного сита та перевантаження відстійників → зниження ефективності початкового очищення.

Рішення:

- встановлення нового барабанного сита з автоматичним промиванням (0,5–0,8 мм)
- модернізація відстійників шляхом: – видалення накопиченого осаду – встановлення ламельних пакетів для підвищення площі осадження
- оптимізація гідравлічного навантаження

Ефект:

- підвищення ефективності затримання завислих речовин з 30–40 % до 50–60 %
- зменшення навантаження на флотацію та фільтрацію
- стабільніші гідравлічні режими

4.3.2. Модернізація вузла коагуляції та флокуляції

Проблема:

нерівномірне дозування реагентів, зміна рН, слабке утворення флокул.

Рішення:

- встановлення автоматичної станції приготування розчину коагулянту та флокулянту
- автоматичне дозування реагентів на основі: – показників мутності – рівня рН – значення ХСК/БСК₅
- впровадження системи статичних змішувачів
- стабілізація значення рН до оптимального для коагуляції (6,5–7,5)

Ефект:

- утворення щільних флокул → покращення роботи DAF
- підвищення ефективності вилучення колоїдних та смолистих речовин до 80–90 %
- зниження витрат реагентів на 10–20 %

4.3.3. Модернізація флотаційної установки DAF

Проблема:

нестабільне насичення води повітрям, нерівномірне знімання піни.

Рішення:

- заміна насоса розчиненого повітря на високонапірний (до 7–8 бар)
- встановлення нових форсунок із дрібнодисперсним розпиленням повітря
- модернізація скребкового механізму (регульована швидкість руху ножа)
- автоматичний контроль тиску та коефіцієнта насичення повітрям

Ефект:

- підвищення ефективності вилучення завислих речовин до 85–95 %
- стабільна якість піни та осаду
- зниження концентрації колоїдів і смолистих речовин після DAF

4.3.4. Відновлення ефективності піщаних та вугільних фільтрів

Проблема:

фільтри частково засмічені, сорбент втратив активність.

Рішення:

- повна регенерація піщаних фільтрів методом зворотного промивання
- заміна активованого вугілля (фракції 1–3 мм) • встановлення нового багатошарового фільтра (пісок + антрацит + гранульований вуглець) • автоматизація промивок за сигналом перепаду тиску (ΔP)

Ефект:

- зниження ХСК на 20–40 % • зниження БСК₅ на 15–25 % • стабільність очищення та менше засмічення наступних етапів

4.3.5. Впровадження мікробіологічного (біологічного) етапу очищення

Обґрунтування:

у деревообробних стоках присутні органічні речовини (смоли, ПАР, клеї), які не видаляються повністю реагентним методом.

Рішення:

- встановлення компактного біореактора: – аеробний біореактор типу MBBR (Mobile Bed Biofilm Reactor) – аеротенк із дрібнопухирчастою аерацією • впровадження вторинного відстійника • стабілізація поживних співвідношень N:P:C

Ефект:

- зниження БСК₅ до рівня <20–25 мг/л • зниження ХСК до <80–120 мг/л • значне покращення стабільності очищення • відповідність більшості європейських норм

4.3.6. Встановлення блоку доочистки

Для досягнення високих екологічних стандартів пропонується встановити одну з сучасних технологій доочищення:

Варіанти технологій:

- ультрафіолетове знезараження (UV)
- сорбційні патрони з активованим вугіллям

- мембранна фільтрація (UF або NF)
- фільтр з модифікованими сорбентами (цеоліт, цеоліто-вугільні суміші)

Очікуваний ефект:

- досягнення стабільно низьких концентрацій токсичних речовин
- можливість повторного використання очищеної води у виробництві
- відповідність вимогам ГДС та нормам ЄС

4.3.7. Встановлення системи автоматичного онлайн-моніторингу

Пропонується впровадити:

- датчики мутності
- автоматичний вимірювач рН
- онлайн-ХСК-аналізатор
- датчики температури та провідності
- система передачі даних на SCADA-панель

Переваги:

- миттєве виявлення відхилень
- повний контроль технологічного процесу
- зменшення ризику перевищення ГДС
- зниження людського фактору

4.3.8. Загальний очікуваний результат модернізації

Після модернізації системи підприємство зможе досягти:

- стабільного видалення ЗР на рівні 90–95 %
- зниження ХСК на 70–85 %
- зниження БСК₅ на 75–90 %
- видалення смол, клеїв, ПАР та ЛОС на рівні до 85–95 %
- відповідності українським нормам і наближення до вимог ЄС
- зниження кількості аварійних ситуацій
- можливості повторного використання частини очищеної води
- покращення екологічної безпеки виробництва

4.4. Порівняння запропонованих заходів з альтернативними технологіями

Для визначення оптимальності запропонованих рішень з модернізації систем очищення повітря та виробничих стічних вод на підприємстві проведено порівняння із доступними альтернативними технологіями, які

застосовуються на деревообробних підприємствах та у суміжних галузях. Порівняння охоплює ефективність вилучення забруднювачів, енергоспоживання, вартість впровадження, складність експлуатації, відповідність сучасним екологічним вимогам та можливість інтеграції в існуючу інфраструктуру.

4.4.1. Порівняння технологій очищення повітря

1. Рукавні фільтри з мембранними рукавами (запропоновано) vs. електрофільтри (альтернатива)

| Критерій | Мембранні рукавні фільтри | Електрофільтри |
|-------------------------------|---|---|
| Ефективність пиловловлення | 99–99,7 % (PM2.5 утримується ефективно) | 95–99 %, але гірше з дрібнодисперсним пилом |
| Вартість | Середня | Висока |
| Обслуговування | Просте, доступні комплектуючі | Складне, потрібен кваліфікований персонал |
| Очистка від змін навантаження | Стабільна | Чутливі до змін вологості/пилу |
| Інтеграція | Легко інтегрується | Вимагає значної реконструкції |

Висновок: обраний тип фільтра є більш оптимальним для деревообробного виробництва, де пил має органічну природу та дрібну фракцію.

2. Система доочистки повітря (F9–H11) vs. циклони високої ефективності

| Критерій | Касетні фільтри F9–H11 | Високоєфективні циклони |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| Ефективність PM2.5 | Дуже висока | Низька |
| Ефективність грубого пилу | Середня | Висока |
| Вартість | Середня | Низька |
| Енергоспоживання | Низьке | Низьке |
| Доцільність застосування | Фінальна стадія | Попередня стадія |

Висновок: циклони не можуть замінити систему доочистки, а лише доповнюють її; запропоноване рішення є оптимальним для досягнення нормативів ЄС.

3. Адсорбційні системи для ЛОС (запропоновано) vs. термальні окиснювачі

| Критерій | Адсорбційний модуль | Термальний окиснювач |
|------------------|-------------------------|----------------------|
| Видалення ЛОС | 70–90 % | 95–99 % |
| Енергоспоживання | Дуже низьке | Дуже високе |
| Вартість | Низька/середня | Дуже висока |
| Доцільність | Малі/середні обсяги ЛОС | Великі обсяги ЛОС |
| Обслуговування | Проста заміна сорбенту | Складне обладнання |

Висновок: термальні окиснювачі недоцільні для масштабу «ТОП ТОПС»; адсорбція - оптимальний компроміс.

4.4.2. Порівняння технологій очищення стічних вод

1. Коагуляція + флотація (запропоновано) vs. мембранні біореактори (MBR)

| Критерій | Коагуляція + DAF | Мембранний біореактор |
|----------------------------|------------------|--|
| Видалення завислих речовин | 85–95 % | 98–99 % |
| Видалення органіки | 40–70 % | 85–95 % |
| Вартість | Середня | Дуже висока |
| Чутливість до навантажень | Низька | Висока |
| Обслуговування | Просте | Складне, потребує високої кваліфікації |

Висновок: MBR - найкраща технологія, але значно дорожча й менш стійка до коливань складу стоків. Запропонований підхід є економічно й технологічно оптимальним.

2. Біореактор MBBR (запропоновано) vs. класичний аеротенк

| Критерій | MBBR | Аеротенк |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Ефективність очищення | Висока | Висока |
| Потреба у площі | Низька | Висока |
| Чутливість до токсичних речовин | Низька | Висока |
| Обслуговування | Легше | Складніше |
| Гідравлічне навантаження | Витримує пікові навантаження | Працює нестабільно |

Висновок: MBVR значно краще підходить для деревообробної галузі, де стоки містять токсичні компоненти.

3. Багатошарові фільтри (запропоновано) vs. сорбційні колони без попереднього очищення

| Критерій | Багатошаровий фільтр | Сорбційні колони |
|--------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Вилучення органіки | Високе | Дуже високе |
| Експлуатація | Легка | Регулярна заміна сорбенту |
| Стабільність | Стабільна | Нестабільна при високому навантаженні |
| Вартість | Середня | Середня/висока |

Висновок: багатошаровий фільтр - оптимальне рішення для стабільної роботи; сорбційні колони доцільні лише як фінальна стадія.

4.4.3. Загальні висновки щодо порівняння технологій

Аналіз альтернативних методів показав, що запропоновані рішення:

- забезпечують найбільш збалансоване співвідношення **ефективність / вартість / стабільність роботи**
- легко інтегруються у поточну інфраструктуру підприємства
- відповідають вимогам ВАТ для малих та середніх деревообробних підприємств
- знижують ризики виходу систем з ладу та перевищення ГДС / ГДВ
- допускають поетапне впровадження без зупинки виробництва

У свою чергу, альтернативні високотехнологічні варіанти, хоча й демонструють високу ефективність, у більшості випадків є фінансово та експлуатаційно невиправданими для масштабу підприємства.

4.5. Екологічна та економічна ефективність впровадження запропонованих рішень

Впровадження комплексу запропонованих заходів з модернізації систем очищення повітря та виробничих стічних вод на ПІДПРИЄМСТВІ забезпечує суттєве підвищення рівня екологічної безпеки підприємства та одночасно створює відчутний економічний ефект. Екологічні вигоди проявляються у зниженні викидів, покращенні якості очищеної води та зменшенні впливу на довкілля, тоді як економічні - у зниженні витрат на утримання систем, реагенти, енергію та штрафи, а також у можливості повторного використання води.

4.5.1. Екологічна ефективність впроваджених рішень

1. Зменшення забруднення атмосферного повітря

Після модернізації очікується:

- зниження концентрації загального пилу у викидах до **10–20 мг/м³** (раніше: 40–60 мг/м³)
- зменшення дрібнодисперсного пилу РМ2.5 на **70–90 %**
- зниження викидів ЛОС з лакофарбових і сушильних ділянок на **60–90 %**

Екологічний результат:

- зменшення впливу на повітряні екосистеми
- покращення якості повітря у виробничих приміщеннях
- відповідність українським нормам і наближення до директив ЄС

2. Покращення якості очищеної води

Завдяки оптимізації механічної та реагентної очистки, модернізації DAF, фільтрації та впровадженню біореактора очікується:

- зниження БСК₅ до **20–25 мг/л** (раніше: 80–150 мг/л)
- зниження ХСК до **80–120 мг/л** (раніше: 250–350 мг/л)
- зменшення завислих речовин до **5–10**

мг/л (раніше: 50–120 мг/л) • видалення смол, клеїв та колоїдних речовин до **85–95 %**

Екологічний результат:

• стабільне дотримання ГДС • зниження токсичності стічних вод • зменшення ризику забруднення ґрунтів та водойм

3. Зменшення кількості відходів

• регенерація фільтрів і оптимізація коагуляції → менше утворення осаду • стабільні режими DAF → менше відходів спіненого шламу • використання багаторазових фільтрувальних матеріалів

Результат:

• зменшення загальної маси відходів на **20–30 %**

4.5.2. Економічна ефективність модернізації

1. Зниження витрат на електроенергію

Модернізація аспірації та рукавних фільтрів зменшує втрати тиску і дозволяє економити:

• **10–15 %** енерговитрат вентиляційної системи • до **150–250 тис. грн/рік**

2. Зменшення споживання реагентів

Завдяки автоматизації коагуляції та флокуляції:

• економія коагулянтів/флокулянтів: **10–20 %** • економія при рН-корекції - до **15 %** • загальне зниження витрат - **80–120 тис. грн/рік**

3. Зниження витрат на обслуговування та ремонт

• збільшення строку служби фільтрувальних рукавів у 2 рази • менше аварійних простоїв • значне зниження витрат на очищення повітропроводів

Фінансовий ефект:

економія приблизно **100–200 тис. грн/рік**

4. Оптимізація витрат на утилізацію відходів

- зменшення кількості осаду з DAF
- зниження концентрації небезпечних речовин → дешевша утилізація

Фінансовий ефект:

економія **30–70 тис. грн/рік**

5. Можливість часткового повторного використання очищеної води

Після модернізації вода може використовуватися для:

- технічних потреб
- зволоження деревини
- миття обладнання

Ефект:

економія до **10–25 %** свіжої води.

6. Зменшення ризику екологічних штрафів

Після впровадження модернізації зникає ризик:

- перевищення ГДС
- перевищення ГДВ
- аварійних скидів
- потрапляння неочищених стоків у ґрунти й водойми

Фінансовий ефект:

мінімізація потенційних штрафних санкцій, які можуть складати від **100 тис. до 1 млн грн** залежно від порушення.

4.5.3. Інтегральний економічний ефект

Сумарна економія для підприємства після модернізації оцінюється на рівні:

≈ **400–650 тис. грн / рік**

За рахунок:

- енергозбереження
- економії реагентів
- зменшення витрат на утилізацію
- зниження витрат на ремонт
- уникнення можливих штрафів

4.5.4. Висновок

Впровадження запропонованих рішень забезпечує:

- комплексне зниження навантаження на атмосферу та водні ресурси
- підвищення екологічної безпеки підприємства
- покращення санітарно-гігієнічних умов
- підвищення ресурсної та енергетичної ефективності виробництва
- досягнення стабільності та надійності роботи систем очищення
- фінансову економію, що окупає модернізацію у середньостроковій перспективі (2–4 роки)

Таким чином, запропоновані заходи є обґрунтовано ефективними як з екологічної, так і з економічної точки зору та формують підґрунтя для стійкого розвитку підприємства.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Тема організації охорони праці на деревообробному підприємстві є надзвичайно важливою та багатогранною. Забезпечення безпечних умов праці та охорони навколишнього середовища несе стратегічне значення для збереження життя, здоров'я працівників і стабільної діяльності підприємства. Це складний комплекс завдань, який повинен вирішувати адміністрування в тісній співпраці з трудовим колективом.

Удосконалення стану умов праці багатьма факторами впливу. Серед них - економічна стабільність підприємства, що забезпечує можливість фінансування заходів з охорони праці; рівень матеріально-технічного забезпечення; наявність сучасного, безпечного та ефективного обладнання; застосування інноваційних технологій; а також правильно організований контроль за дотриманням правил безпеки під час виробничих процесів.

Деревообробна промисловість, за своєю природою, належить до категорії виробництва з підвищеним рівнем небезпеки та шкідливих факторів. Вона представляє собою комплексний технологічний процес, що включає різні виробничі ділянки з неоднаковим рівнем ризику щодо професійного травматизму та екологічної безпеки.

Найбільш складними з точки зору охорони праці вважаються ціхи механічної обробки деревини, де використовується велика кількість стаціонарного верстатного обладнання. Основні небезпеки тут пов'язані з двома основними аспектами:

- Специфікою оброблюваного матеріалу - деревини, яка є анізотропним матеріалом з нерівномірною структурою, що містить тверді сучки, змінну вологість, які впливають на стійкість обробки. Це створює непередбачувані коливання сил різання, що спричиняє вібрацію і шум обладнання.

- Особливостями конструкції і режимів роботи технічних засобів для деревообробки. Високі частоти обертання різального інструменту (від 3000 до 30 000 обертів за хвилину) створюють значні інерційні навантаження, ударні сили в підшипниках, що часто призводять до аварійних ситуацій, посилюють рівень шуму понад норму і викликають вібрації з рівнем 87–119 дБА. Все це негативно впливає на здоров'я операторів і верстатників.

До того ж на багатьох деревообробних підприємствах у цих умовах помітна велика кількість обладнання з ручною подачею матеріалу та недостатньо ефективними огороженнями та системами блокування (наприклад, верстати типів Ц5, Ц6, СФ-4, СФ-6). Це значно ризик травмування і нещасних випадків серед обслуговуючого персоналу.

Крім того, багато різних інструментів виготовляються без повного урахування ергономічних норм, що знижує умови праці та підвищує ймовірність професійних захворювань.

Служба охорони праці, створена на підприємствах, виконує низку ключових функцій, що мають безпосередній вплив на підвищення безпеки на виробництві:

- Забезпечення безпеки всіх виробничих процесів, а також обладнання, будівель і споруд.
- Постачання працівників якісними засобами індивідуального та колективного захисту, таких як респіратори, захисні окуляри, рукавички, спецодяг.
- Організація професійної підготовки, навчання та регулярного підвищення кваліфікації з питань безпеки праці, а також активна пропаганда безпечних методів і культурних виробничих практик.

- Контроль за режимами праці і відпочинку, що важливо для запобігання перевтомі та професійним захворюванням.
- Відбір працівників для виконання конкретних видів робіт із оцінкою стану їх здоров'я та кваліфікації.

Розмір і склад служби охорони праці регламентуються нормативними документами - «Рекомендаціями щодо структури та чисельності служби охорони праці», що є додатком до «Типового положення про службу охорони праці». Спеціалісти служби повинні мати вищу спеціальну освіту в галузі охорони праці та досвід роботи в спеціальній галузі виробництва підприємства. За їх статусом і оплатою праці вони прирівнюються до провідних фахівців підприємства. Служба тимчасово підпорядковується керівництву підприємства.

Важливою ланкою системи управління охороною праці (СУОП) є дотримання чинного законодавства України - законів, міжгалузевих і галузевих нормативних актів, а також внутрішніх положень підприємства, що регламентують діяльність служби охорони праці.

Працівники служби охорони праці наділені повноваженнями видають керівникам підприємства та структурних підрозділів обов'язкові приписи щодо усунення виявлених недоліків. Особливо вагомо, що спеціаліст з охорони праці має право зупинити виробничі роботи у разі виявлення загрози життю і здоров'ю працівників. Відмінити таке рішення може лише вищестояща посадова особа письмово.

Керівні особи на підприємстві повинні контролювати процес відсторонення працівників, які не пройшли медичний огляд або навчання, не мають допуску до виконання робіт, порушують нормативи охорони праці. Також керівництво зобов'язане ініціювати дисциплінарні заходи щодо вимог безпеки порушників.

Для мотивації персоналу рекомендовано впроваджувати систему матеріального забезпечення за сумісне виконання посадових обов'язків та активну участь у підвищенні безпеки виробництва. Правила такої системи розробляються службою охорони праці і затверджуються керівником підприємства.

Усі новоприйняті працівники проходять обов'язкові вступні навчання та інструктажі з безпеки праці, ознайомлюються з правилами надання першої долікарської допомоги, алгоритмами дій при аварійних ситуаціях і нещасних випадках.

Працівники, задіяні в роботах підвищеної небезпеки (відповідно до наказу Держнаглядохоронпраці № 123 від 30.11.1993 року), повинні проходити спеціальне професійне навчання і регулярну перевірку знань з охорони праці не рідше одного разу на. Без проходження такого навчання та атестації допуск до роботи заборонено.

В цехах обробки механічної деревини неможливо уникнути пилоутворення. Відомо, що пил утворюється внаслідок механічного подрібнення матеріалів у порошкоподібний стан в процесах механічної обробки.

Таким чином, організаційні засади охорони праці на деревообробному підприємстві є багатокомпонентною системою, яка потребує постійної уваги та удосконалення. Лише тісна робота адміністрації, охорони праці та трудового колективу, а також суворе дотримання законодавчих вимог і впровадження сучасних стандартів безпеки можуть забезпечити ефективний захист здоров'я працівників, оптимізацію виробничих процесів і збереження екологічного балансу підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження систем очищення повітря та виробничих стічних вод на деревообробному підприємстві, що включало теоретичний аналіз джерел забруднення, оцінку чинних технологій, визначення їхніх слабких місць, а також розроблення технологічних рішень щодо підвищення ефективності очищення. Дослідження засвідчило, що сучасні вимоги до екологічної безпеки деревообробних виробництв потребують модернізації традиційних систем аспірації та очищення стічних вод, які на багатьох підприємствах залишаються технічно та морально застарілими.

У межах роботи:

1. **Обґрунтовано актуальність проблеми**, яка пов'язана зі значним екологічним навантаженням деревообробних підприємств на атмосферне повітря, водні ресурси та стан робочої зони. Показано, що пил, ЛОС, смоли, клеї та колоїдні речовини становлять потенційну небезпеку для довкілля та здоров'я працівників, а їхнє ефективне вилучення є ключовою умовою безпечного функціонування підприємств.
2. **Визначено основні джерела забруднення повітря та води**, описано фізико-хімічні властивості пилу, органічних сполук та стічних вод деревообробної промисловості. Наведено характеристику впливу цих забруднювачів на довкілля та здоров'я населення.
3. **Проведено аналіз нормативно-правових вимог** щодо очищення викидів і стоків відповідно до законодавства України та міжнародних стандартів. Порівняння засвідчило, що для наближення до європейських екологічних норм підприємство має підвищити рівень очищення повітря та води.

4. **Оцінено технічний стан систем аспірації, фільтрації та очищення стічних вод на підприємстві**, що дозволило визначити ключові слабкі місця: • зношеність фільтрувальних рукавів; • нестабільність роботи імпульсної регенерації; • недостатня аеродинаміка повітропроводів; • відсутність очищення ЛОС; • зниження ефективності механічного та реагентного очищення стічних вод; • часткове засмічення фільтрів; • відсутність біологічного етапу очищення; • неповний екологічний моніторинг.

5. **Запропоновано комплекс заходів з модернізації систем очищення**, який включає: • заміну фільтрувальних рукавів на мембранні; • модернізацію аспіраційної мережі; • встановлення систем доочистки повітря (F9–H11); • впровадження адсорбційних модулів для вилучення ЛОС; • автоматизацію контролю параметрів аспірації; • модернізацію механічної та реагентної очистки стічних вод; • модернізацію DAF; • встановлення біореактора MBBR; • реконструкцію фільтраційного блоку; • впровадження онлайн-моніторингу.

6. **Проведено порівняння запропонованих рішень з альтернативними технологіями**, що підтвердило їх оптимальність за співвідношенням ефективності, вартості, енергоспоживання та можливості інтеграції у існуючу інфраструктуру підприємства.

7. **Оцінено екологічний ефект модернізації**, який включає:

- зниження концентрації пилу у викидах до 10–20 мг/м³;
- зменшення дрібнодисперсного пилу PM_{2.5} на 70–90 %;
- зниження ЛОС на 60–90 %;
- зменшення БСК₅ до 20–25 мг/л та ХСК до 80–120 мг/л;
- підвищення ефективності вилучення смол, клеїв та колоїдних речовин до 85–95 %.

8. **Оцінено економічний ефект реалізації запропонованих заходів**, який проявляється у: • зменшенні енергоспоживання на 10–15 %; • скороченні витрат на реагенти на 10–20 %; • зниженні витрат на ремонт та утилізацію відходів; • уникненні потенційних екологічних штрафів; • економії води через її повторне використання. Загальний прогнозований економічний ефект становить **400–650 тис. грн на рік**, що забезпечує окупність модернізації протягом **2–4 років**.

Проведене дослідження доводить, що модернізація систем очищення повітря та стічних вод на підприємстві є технічно необхідною, екологічно виправданою та економічно доцільною. Запропоновані рішення забезпечують суттєве підвищення ефективності очищення, наближення до стандартів ВАТ, покращення умов праці та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Таким чином, реалізація рекомендацій сприятиме підвищенню екологічної відповідальності підприємства, його конкурентоспроможності та стійкості у довгостроковій перспективі.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря».
3. Водний кодекс України.
4. ДСТУ 8725:2017 «Оцінювання якості повітря. Визначення концентрації зважених частинок».
5. ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування».
6. ДСТУ 3017-95 «Охорона природи. Повітря. Методики відбору проб».
7. ДСТУ 4174-2003 «Якість води. Методи визначення завислих речовин».
8. ДСТУ ISO 6060:2003 «Якість води. Визначення хімічного споживання кисню».
9. ДСТУ ISO 15705:2005 «Якість води. Вимірювання ХСК фотометричним методом».

10. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
11. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2023.
12. Методичні рекомендації щодо очищення викидів деревообробних підприємств. — Київ: Міндовкілля, 2021.
13. Клименко М. О., Шмандій В. М. Очищення промислових стічних вод: навчальний посібник. — Кропивницький, 2018.
14. Шевчук В. М., Сотник І. М. Екологічна політика та управління. — Київ: КНЕУ, 2017.
15. Літвінов А. І. Технології очищення повітря промислових підприємств. — Київ: Ліра-К, 2020.
16. Методичні вказівки щодо експлуатації установок флотації та коагуляції стічних вод підприємств деревообробної промисловості. — Харків: УкрНДЕкопроект, 2020.
17. European IPPC Bureau. Best Available Techniques (BAT) for the Wood-based Panel Industry. — EU JRC, 2019.

18. World Health Organization. Air Quality Guidelines: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. — WHO Regional Office for Europe, 2021.
19. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5th ed. — McGraw-Hill, 2014.
20. Spellman F. Industrial Wastewater Treatment. — CRC Press, 2020.
21. U.S. EPA. Air Pollution Control Technology Fact Sheets. — EPA, 2020.
22. Water Environment Federation. Design of Water Resource Recovery Facilities (WEF Manual of Practice No. 8). — WEF, 2018.
23. Cheremisinoff N. Industrial Air Pollution Control Handbook. — CRC Press, 2019.
24. International Water Association (IWA). Small and Decentralized Wastewater Systems: Principles and Practice. — IWA Publishing, 2022.