

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

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

## **Пояснювальна записка**

до магістерської роботи  
на тему:

**«Оцінка та технології зменшення впливу на повітряне  
середовище деревообробної майстерні Кременецького  
лісотехнічного фахового коледжу»**

*«Assessment and technologies for reducing the impact on the air environment of  
the woodworking workshop of the Kremenets Forestry Vocational College»*

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

Іванюк Яна Валеріївна  
(прізвище та ініціали)

Керівник Соколовський І.А.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ортинська Г.Є.  
(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

Іванюк Яна Валеріївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Оцінка та технології зменшення впливу на повітряне середовище деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу**

*Assessment and technologies for reducing the impact on the air environment of the woodworking workshop of the Kremenets Forestry Vocational College*

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

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

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

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Виконати огляд літературних джерел з проблематики, дослідження повітряного середовища деревообробного виробництва і технологій їх очищення

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

1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.


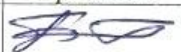
2. Дослідження технологій зменшення забруднення викидів в повітряне середовище від деревообробної майстерні. Розроблення рекомендацій щодо

вдосконалення технологій очищення повітря з урахуванням специфіки деревообробного виробництва

3. Охорона праці.

4. Перелік презентаційного матеріалу: (слайди презентації результатів досліджень)

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент Я. Іванюк  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

# **ЗМІСТ**

## **Вступ**

### **Розділ 1. Теоретичні засади шумового та атмосферного забруднення в деревообробній промисловості**

- 1.1. Джерела утворення шуму на деревообробних підприємствах
- 1.2. Основні джерела атмосферних викидів (пил, ЛОС, гази)
- 1.3. Вплив шумового навантаження та забруднення повітря на довкілля і здоров'я людини
- 1.4. Нормативно-правове регулювання шуму та атмосферних викидів в Україні та світі
- 1.5. Технології контролю та методи оцінки рівня шуму та забруднення повітря

### **Розділ 2. Сучасні технологічні рішення з мінімізації шумового та атмосферного забруднення**

- 2.1. Технічні та конструктивні заходи зниження шуму (шумоізоляція, демпфування, бар'єри)
- 2.2. Системи аспірації, фільтрації та уловлювання пилу
- 2.3. Технології зменшення викидів ЛОС і газоподібних забруднень
- 2.4. Організаційно-технологічні заходи з управління шумом і викидами
- 2.5. Порівняльний аналіз ефективності різних методів зменшення шуму та забруднення

### **Розділ 3. Діагностика шумового та атмосферного забруднення деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу**

- 3.1. Коротка характеристика підприємства та виробничих процесів

3.2. Аналіз рівня шумового навантаження у виробничих зонах

3.3. Оцінка концентрацій пилу, ЛОС та газоподібних викидів

3.4. Визначення слабких місць у системах шумозахисту та очищення повітря

3.5. Відповідність показників екологічним нормативам

#### **Розділ 4. Обґрунтування та розробка комплексу заходів зі зменшення шумового та атмосферного забруднення**

4.1. Запропоновані технічні рішення щодо зменшення шуму

4.2. Модернізація систем аспірації та фільтрації повітря

4.3. Впровадження заходів зменшення викидів ЛОС

4.4. Організаційні та управлінські заходи з підвищення екологічної безпеки

4.5. Оцінка екологічної та економічної ефективності запропонованих рішень

#### **Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ**

##### **Загальні висновки**

##### **Список використаних джерел**

## АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі досліджено методи зменшення шумового та атмосферного забруднення від деревообробних підприємств. Розглянуто основні джерела формування шуму, пилових викидів, летких органічних сполук та інших повітряних забруднювачів, а також їхній вплив на довкілля та здоров'я працівників. Проаналізовано нормативно-правові вимоги України та міжнародні стандарти щодо контролю шуму й атмосферних викидів.

Особливу увагу приділено діагностиці реального стану шумового навантаження та якості повітря на прикладі деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу. На основі отриманих результатів запропоновано комплекс технологічних, конструктивних та організаційних заходів зі зниження шуму та мінімізації викидів шкідливих речовин. Оцінено екологічний та економічний ефект від реалізації запропонованих рішень.

Робота доводить, що впровадження сучасних методів очищення повітря та шумозахисних технологій забезпечує підвищення екологічної безпеки виробництва, покращення умов праці та відповідність підприємства вимогам екологічного законодавства.

**Ключові слова:** шумове забруднення, атмосферні викиди, пил, ЛОС, деревообробне підприємство, аспірація, шумозахист, фільтрація повітря, екологічна безпека.

## ANNOTATION

This master's thesis examines methods for reducing noise and atmospheric pollution generated by woodworking enterprises. The research analyzes the primary sources of noise, dust emissions, volatile organic compounds (VOCs), and other air pollutants, as well as their impact on the environment and workers' health. Ukrainian regulatory requirements and international standards on noise control and air emissions are reviewed.

A diagnostic assessment of noise levels and air quality is conducted using the woodworking workshop as an example. Based on the assessment results, a set of technological, structural, and organizational measures aimed at reducing noise levels and minimizing pollutant emissions is proposed. The ecological and economic efficiency of the suggested improvements is evaluated.

The study demonstrates that the implementation of modern air purification systems and noise reduction technologies significantly enhances environmental safety, improves working conditions, and ensures compliance with environmental legislation.

**Keywords:** noise pollution, air emissions, dust, VOCs, woodworking industry, aspiration, noise control, air filtration, environmental safety.

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

Деревообробна промисловість належить до галузей із підвищеним техногенним навантаженням на довкілля, що зумовлено інтенсивним утворенням шуму та атмосферних викидів, включно з пилом, леткими органічними сполуками (ЛОС) та газоподібними продуктами деревообробних процесів. Шумові навантаження на виробництві часто перевищують санітарно допустимі рівні, впливаючи на здоров'я працівників, знижуючи продуктивність та підвищуючи ризики професійних захворювань. Атмосферні викиди деревообробних підприємств є джерелом забруднення повітряного басейну, сприяють утворенню вторинних токсичних продуктів, а також негативно впливають на екосистеми прилеглих територій.

В умовах посилення екологічного законодавства України, адаптації стандартів до вимог ЄС та зростання суспільної уваги до проблем техногенного впливу питання зменшення шумового та атмосферного забруднення набуває особливої актуальності. Впровадження сучасних методів фільтрації, аспірації, шумоізоляції, а також оптимізація виробничих процесів є необхідною умовою екологічної та економічної стійкості деревообробних підприємств.

Саме тому дослідження ефективних технологій та організаційних рішень щодо мінімізації шуму та атмосферних викидів має важливе наукове й практичне значення.

**Мета роботи** — дослідити сучасні методи зменшення шумового та атмосферного забруднення від деревообробних підприємств, оцінити їхню

ефективність у виробничих умовах та розробити рекомендації для підвищення екологічної безпеки.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

1. Проаналізувати джерела утворення шуму та атмосферних викидів у деревообробній промисловості.
2. Дослідити вплив шумового та атмосферного забруднення на довкілля й здоров'я людини.
3. Вивчити нормативно-правові вимоги щодо контролю шуму та викидів в Україні та світі.
4. Проаналізувати існуючі технологічні рішення щодо зменшення шуму та очищення повітря.
5. Провести діагностику рівня шумового навантаження та концентрацій забруднювачів на прикладі деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу.
6. Визначити недоліки та слабкі місця у діючих системах шумозахисту та очищення повітря.
7. Розробити комплекс технічних та організаційних заходів зі зменшення шумового та атмосферного забруднення.
8. Оцінити екологічну та економічну ефективність запропонованих рішень.

**Об'єкт дослідження:** шумове та атмосферне забруднення, що утворюється в процесах деревообробного виробництва.

**Предмет дослідження:** методи, технології та заходи зі зменшення шумового навантаження і атмосферних викидів, а також ефективність їх застосування на деревообробних підприємствах.

**Методи дослідження**

У роботі використано такі методи:

- аналітичний метод — для вивчення літератури, нормативної бази та наукових джерел;
- інструментально-лабораторні методи — для вимірювання рівнів шуму, пилу, ЛОС та інших атмосферних забруднювачів;
- порівняльний метод — для оцінки ефективності різних технологій шумозахисту та фільтрації;
- математичне моделювання — для розрахунку ступеня очищення повітря та прогнозування впливу шумових навантажень;
- системний аналіз — для визначення взаємозв'язків між виробничими процесами та екологічними параметрами;
- економічний аналіз — для оцінки вартості впровадження запропонованих заходів.

### **Наукова новизна**

Наукова новизна роботи полягає у:

1. Комплексному поєднанні методів зменшення шумового та атмосферного забруднення, орієнтованому на умови деревообробного виробництва.
2. Обґрунтуванні ефективності сучасних шумозахисних рішень у взаємозв'язку з енергоспоживанням та технологічними процесами.
3. Запропонуванні оптимізованої моделі модернізації систем аспірації та фільтрації з урахуванням особливостей викидів ЛОС у деревообробній промисловості.
4. Розробленні інтегрованого підходу, який поєднує технічні та організаційні заходи для максимальної екологічної ефективності.

### **Практичне значення роботи**

Практична цінність дослідження полягає у можливості:

- застосування запропонованих рішень на реальних деревообробних підприємствах, включно з деревообробною майстернею Кременецького лісотехнічного фахового коледжу;

- зменшення рівнів шумового навантаження та концентрацій забруднювачів у повітрі;

- підвищення безпеки та комфорту праці працівників;

- поліпшення екологічних показників територій, прилеглих до підприємств;

- підвищення відповідності українським та європейським екологічним вимогам;

- зниження витрат на енергію, ремонт та екологічні штрафи.

## **Розділ 1. Теоретичні засади шумового та атмосферного забруднення в деревообробній промисловості**

### **1.1. Джерела утворення шуму на деревообробних підприємствах [7-9]**

Шум у деревообробній промисловості формується внаслідок роботи високошвидкісного різального та транспортного обладнання, переміщення матеріалів, вібрацій конструкцій, а також роботи систем вентиляції та аспірації. Інтенсивність шуму залежить від технологічних режимів, типу обладнання, його технічного стану та умов експлуатації.

До основних джерел шуму належать [ 13,14]:

- деревообробні верстати (циркулярні, фрезерні, стрічкові, рейсмусові)
- шліфувальне обладнання
- рубальні та подрібнювальні механізми
- компресорні установки
- транспортери та елеватори
- вентилятори систем аспірації
- сушильні камери
- пневматичні системи
- ударні та механічні процеси переміщення заготовок

Шумові навантаження в окремих виробничих зонах можуть досягати 90–110 дБА, що перевищує санітарні норми і потребує застосування шумозахисних заходів.

**Таблиця 1. Основні джерела шуму деревообробних підприємств та їх характеристика [ 7 ]**

<b>Джерело шуму</b>	<b>Характер шуму</b>	<b>Орієнтовний рівень, дБА</b>	<b>Причини утворення</b>
Циркулярні та стрічкові пилки	Високочастотний, непостійний	95–110	Висока швидкість обертання диска, різання волокон
Фрезерні та рейсмусові верстати	Середньо- та високочастотний	90–105	Удари ножів, нерівномірність подачі, вібрації
Шліфувальні машини	Стабільний, монотонний	85–100	Тертя абразиву, вібрація конструкції
Рубальні машини, дробарки	Імпульсний, низькочастотний	95–115	Подрібнення деревини, ударні навантаження
Компресорні станції	Низько- та середньочастотний	85–100	Робота двигуна та пневмосистеми
Транспортери, елеватори	Середньочастотний	80–95	Тертя деталей, рух ланцюгів, механічні зіткнення
Вентилятори аспірації	Стабільний, високочастотний	85–105	Аеродинамічний шум, зношення крильчатки
Сушильні камери	Низькочастотний, фоновий	75–90	Робота вентиляторів, циркуляція повітря
Пневмоінструмент	Імпульсний	90–110	Струмінь повітря, вібрація корпусу

Шумове навантаження у деревообробному виробництві має переважно техногенний характер та формується комбінацією механічних,

аеродинамічних і вібраційних процесів. Розуміння джерел шуму є необхідною умовою для подальшої розробки ефективних технічних і організаційних методів шумозниження.

## **1.2. Основні джерела атмосферних викидів (пил, ЛОС, газ)**

Атмосферні викиди деревообробних підприємств формуються переважно внаслідок механічної обробки деревини, сушіння, нанесення лакофарбових матеріалів, роботи котелень та процесів транспортування. Забруднення можуть мати різну природу: тверді частинки (пил), леткі органічні сполуки (ЛОС), газоподібні продукти горіння та вторинні забруднювачі.

Основні типи забруднювачів:

- *деревний пил* різних фракцій (PM10, PM2.5)
- *смолисті частинки*
- *ЛОС* (ацетон, толуол, ксилол, етанол, формальдегід)
- *газоподібні викиди* (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> — за наявності котельні)
- *аерозолі та пари розчинників*
- *вторинні продукти окиснення ЛОС*

Особливістю атмосферного забруднення деревообробних підприємств є поєднання пилових та органічних викидів, що потребує комплексного підходу до очищення.

**Таблиця 2. Основні джерела атмосферних викидів деревообробних підприємств [ 15 ]**

<b>Джерело викидів</b>	<b>Типи забруднювачів</b>	<b>Орієнтовні концентрації до очищення</b>	<b>Причини утворення</b>
Механічна обробка деревини (пилки, фрезери, шліфування)	Деревний пил (грубий, дрібнодисперсний РМ10/РМ2.5)	50–5000 мг/м <sup>3</sup>	Різання, подрібнення, тертя деревини
Системи транспортування та аспірації	Пил, смолисті частинки	30–500 мг/м <sup>3</sup>	Переміщення та пневмотранспортування відходів
Лакофарбові процеси (фарбопульты, розпилення)	ЛОС (ацетон, толуол, ксилол), аерозолі ЛФМ	100–1500 мг/м <sup>3</sup>	Випаровування розчинників, розпил ЛФМ
Сушильні камери	Пил дрібної фракції, ЛОС, смолисті випаровування	20–300 мг/м <sup>3</sup>	Випаровування смол, сушіння деревини
Котельні на деревних відходах	СО, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , зола, дрібний пил	СО: 50–500 мг/м <sup>3</sup> NO <sub>x</sub> : 100–400 мг/м <sup>3</sup>	Горіння деревини, неповне згорання
Склеювальні процеси	Формальдегід, фенол, ЛОС	5–200 мг/м <sup>3</sup>	Випаровування клеїв, полімеризація
Склади ЛФМ	Пари розчинників (ЛОС)	Залежить від вентиляції	Евакуація парів через витяжні системи

Атмосферні викиди деревообробних підприємств мають комбінований характер, поєднуючи тверді частинки та леткі органічні сполуки, що значно ускладнює процес їх очищення. Розуміння структури та джерел викидів є ключовою умовою для розробки високоефективних систем аспірації, фільтрації та контролю ЛОС.

### **1.3. Вплив шумового навантаження та забруднення повітря на довкілля і здоров'я людини**

Шумове та атмосферне забруднення, характерне для деревообробних підприємств, становить комплексний екологічний та санітарно-гігієнічний ризик. Комбінація високих шумових рівнів, дрібнодисперсного пилу, летких органічних сполук (ЛОС) та газоподібних забруднювачів негативно впливає на здоров'я працівників, екосистеми та стан навколишнього середовища.

#### **1.3.1. Вплив шумового навантаження на здоров'я людини**

Постійний виробничий шум у межах 85–110 дБА, типовий для деревообробних цехів, перевищує допустимі рівні, встановлені ДСН 3.3.6.037-99. Його дія призводить до:

- поступової втрати слуху (нейросенсорна приглухуватість)
- перевтоми, зниження концентрації уваги
- підвищення рівня стресу та збудження нервової системи
- порушень сну при тривалій експозиції
- підвищення артеріального тиску
- головного болю та зниження працездатності

Дослідження ВООЗ показують, що тривала дія шуму понад 85 дБА без засобів захисту є одним з ключових чинників розвитку професійних захворювань у деревообробній галузі.

### **1.3.2. Екологічний вплив шуму**

Шумове забруднення впливає не лише на людей, а й на природні екосистеми:

- дезорієнтація та стрес у тварин поблизу виробництва
- зниження репродуктивної активності деяких видів
- зміна міграційних маршрутів птахів
- деградація акустичного середовища населених пунктів

Тобто шум — це не лише виробничий фактор, а й екологічний.

### **1.3.3. Вплив пилу на здоров'я людини**

Деревний пил, особливо дрібної фракції (PM10 і PM2.5), є основним забруднювачем повітря на деревообробних підприємствах. Його дія викликає:

- подразнення слизової оболонки дихальних шляхів
- алергічні реакції
- хронічний бронхіт та астматичні стани
- професійні захворювання легень (дерматит, риніт, альвеоліт)
- підвищений ризик онкологічних захворювань (для пилу твердих порід)

Тонкодисперсний пил здатний проникати у найглибші відділи легень, створюючи довготривалі негативні ефекти.

### **1.3.4. Вплив ЛОС та газоподібних забруднювачів**

Леткі органічні сполуки, що виділяються при роботі лакофарбових дільниць, клеєвих процесів та сушіння деревини, мають такі наслідки:

**Для здоров'я людини:**

- токсична дія на печінку, нирки, ЦНС
- подразнення очей та дихальних шляхів
- головний біль, запаморочення, нудота
- канцерогенний вплив (формальдегід, бензол)

**Для довкілля:**

- участь у фотохімічних реакціях → утворення смогу
- токсичний вплив на рослинність
- погіршення якості повітря в зоні житлової забудови
- накопичення у ґрунтах та поверхневих водах

### **1.3.5. Сумарний екологічний вплив пилу, ЛОС і шуму**

Комбінований вплив забруднювачів посилює загальні негативні наслідки:

- зниження якості життя населення поблизу підприємств
- збільшення навантаження на медичну систему
- деградація довкілля через хронічне забруднення повітря
- прискорення зношення будівель та інфраструктури
- зменшення біорізноманіття місцевих екосистем

Довготривале атмосферне забруднення може спричинити зміну мікроклімату на підприємствах і прилеглих територіях через зниження прозорості повітря та зміну теплових потоків.

Шумові та атмосферні забруднення, характерні для деревообробної промисловості, створюють значні санітарно-гігієнічні й екологічні ризики. Усвідомлення їхнього впливу та масштабів є ключовим етапом у формуванні ефективної системи шумозахисту, фільтрації та контролю викидів. Це також обґрунтовує необхідність подальших досліджень і впровадження сучасних технологій зменшення шкідливих впливів.

## **1.4. Нормативно-правове регулювання шуму та атмосферних викидів в Україні та світі [ 1 - 6 ]**

Нормативно-правова база, що регулює шумове та атмосферне забруднення від промислових підприємств, є багаторівневою та включає державні стандарти, закони, підзаконні акти, санітарні норми, а також рекомендації міжнародних організацій. Для деревообробної промисловості актуальними є вимоги щодо гранично допустимих рівнів шуму, обмежень

викидів пилу та ЛОС, а також регламенти щодо поводження з промисловими забрудненнями.

#### **1.4.1. Нормативно-правове регулювання в Україні**

##### **1. Законодавчі акти**

• Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». • Закон України «Про охорону атмосферного повітря». • Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення». • Кодекс цивільного захисту України — вимоги щодо безпеки робочої зони.

##### **2. Санітарні норми та правила**

• ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

• Гранично допустимий рівень шуму на робочих місцях: **80–85 дБА**. • ДСН 173-96 «Гранично допустимі рівні шуму в населених пунктах». • ДСН 201-97 «Норми допустимих викидів пилу, газів та аерозолів».

##### **3. Технічні та екологічні стандарти**

• ДСТУ ISO 14001:2015 (екологічне управління). • ДСТУ ISO 1996-1:2003 (вимірювання шуму). • ДСТУ 8725:2017 (визначення концентрації зважених частинок). • Наказ Міндовкілля про ГДВ (гранично допустимі викиди).

#### 4. Вимоги до атмосферних викидів

Для деревообробних підприємств найважливішими є норми щодо:

Забруднювач	Типові ГДВ в Україні
Деревний пил	20–50 мг/м <sup>3</sup>
PM10	до 40 мг/м <sup>3</sup>
PM2.5	до 25 мг/м <sup>3</sup>
Формальдегід	0,5 мг/м <sup>3</sup>
ЛОС (загальні)	100 мг/м <sup>3</sup> (залежно від процесу)

*Фактичні вимоги залежать від категорії підприємства та типу джерела викиду.*

##### 1.4.2. Міжнародні стандарти та регуляції

###### Європейський Союз

Регулювання викидів і шуму здійснюється на основі директив та фреймворків:

**1. Директива 2002/49/ЕС про оцінку й управління шумом.** • Встановлює методи оцінки шуму та вимоги до шумових карт. • Рекомендований рівень шуму на робочому місці:  $\leq 80$  дБА.

**2. IPPC / Директива 2010/75/EU (Промислові викиди).** • Вимагає застосування найкращих доступних технологій (BAT). • Для деревообробних підприємств → низькі ліміти на пил та ЛОС.

**3. BREF для деревообробної промисловості (BAT Reference Document).** • Викиди пилу після очищення: 2–10 мг/м<sup>3</sup>. • Викиди ЛОС у лакофарбових процесах: 50–100 мг/м<sup>3</sup>.

###### ВООЗ (WHO)

• Рекомендовані рівні PM2.5 → 5 мкг/м<sup>3</sup> річна середня. • Рекомендовані рівні PM10 → 15 мкг/м<sup>3</sup> річна середня. • Шум у робочій зоні → постійний вплив понад 85 дБА є небезпечним.

### 1.4.3. Порівняння українських та міжнародних вимог

Параметр	Україна	ЄС / WHO	Коментар
Граничний шум у виробничих приміщеннях	80–85 дБА	80 дБА (EU)	Схожі, але ЄС вимагає ширших заходів захисту
Деревний пил у викидах	20–50 мг/м <sup>3</sup>	2–10 мг/м <sup>3</sup>	ЄС — значно жорсткіші вимоги
PM2.5 (повітря)	25 мг/м <sup>3</sup>	5 мг/м <sup>3</sup>	WHO рекомендує у 5 разів нижчі рівні
Формальдегід	0,5 мг/м <sup>3</sup>	0,1 мг/м <sup>3</sup>	ЄС значно знижує межу
ЛОС	100 мг/м <sup>3</sup>	50–100 мг/м <sup>3</sup>	Залежить від типу виробництва

Українське законодавство регламентує шум та атмосферні викиди на достатньому базовому рівні, однак порівняння з нормами ЄС та рекомендаціями ВООЗ свідчить про необхідність подальшого посилення вимог, зокрема щодо пилових фракцій PM10/PM2.5 та летких органічних сполук. Для деревообробних підприємств це означає потребу впровадження сучасних систем очистки повітря, шумозахисних бар'єрів і технологій ВАТ, що становитиме основу для подальшої екологізації виробництва.

### 1.5. Технології контролю та методи оцінки рівня шуму та забруднення повітря

Ефективний контроль шумового та атмосферного забруднення на деревообробних підприємствах базується на систематичному моніторингу, застосуванні інструментальних методів вимірювання та використанні сучасних технологій аналізу. Комбінація цих підходів дозволяє визначати

рівні впливу, виявляти джерела перевищень і формувати оптимальні рішення для їх зниження.

### **1.5.1. Технології контролю шуму**

Контроль шумового навантаження здійснюється за допомогою:

#### **1. Шумомірів**

- використовуються для вимірювання еквівалентних та максимальних рівнів шуму;
- дозволяють оцінювати відповідність нормам ДСН 3.3.6.037-99.

#### **2. Аналізаторів спектра шуму**

- визначають частотний склад шуму;
- особливо важливі для діагностики вібраційних та аеродинамічних шумів обладнання.

#### **3. Дозиметрів персонального шумового навантаження**

- вимірюють індивідуальну експозицію працівника протягом зміни;
- застосовуються на підприємствах із підвищеним шумовим фоном.

#### **4. Акустичного моделювання**

- використовується для розробки шумозахисних екранів, бар'єрів, ізоляційних конструкцій;
- дозволяє прогнозувати ефективність шумозниження до впровадження заходів.

### **1.5.2. Методи оцінки шуму**

Оцінювання шуму включає:

- вимірювання еквівалентного рівня шуму —  $L_{Aeq}$
- визначення максимального рівня шуму —  $L_{max}$
- аналіз спектра за октавними або третинооктавними смугами
- порівняння з нормативами для робочих місць та прилеглих територій
- побудову шумових карт виробничих зон

Це дозволяє ідентифікувати «акустичні гарячі точки».

### **1.5.3. Технології контролю забруднення атмосферного повітря**

Контроль якості повітря на деревообробних підприємствах охоплює вимірювання пилу, ЛОС, газоподібних продуктів горіння та мікрочастинок.

## **1. Системи вимірювання пилу (пиломіри, монітори PM10/PM2.5)**

- лазерні та оптичні сенсори фіксують концентрацію зважених частинок;
- необхідні для контролю ефективності аспірації.

## **2. Газоаналізатори**

- визначають концентрації CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO;
- застосовуються для контролю лакофарбових процесів і котелень.

## **3. Хроматографи для аналізу ЛОС**

- газова хроматографія дозволяє визначати спектр органічних сполук;
- необхідна для контролю викидів із сушильних і фарбувальних камер.

## **4. Портативні багатофункціональні аналізатори якості повітря**

- поєднують вимірювання пилу, температури, вологості, CO<sub>2</sub>, ЛОС;
- забезпечують оперативний контроль.

## **5. Стаціонарні системи моніторингу (CEMS)**

- дають можливість автоматичного та безперервного вимірювання;
- важливі для джерел значних викидів.

### **1.5.4. Методи оцінки атмосферних викидів**

Оцінювання здійснюється за такими напрямками:

#### **1. Інструментальні вимірювання**

- концентрація пилу — мг/м<sup>3</sup>
- концентрація ЛОС — мг/м<sup>3</sup>
- газоподібні викиди — мг/м<sup>3</sup>
- фракційний склад пилу — PM2.5, PM10

#### **2. Лабораторні методи**

- гравіметричний аналіз пилу
- хімічне визначення формальдегіду, фенолу, спиртів
- хроматографічне визначення ЛОС

#### **3. Розрахункові методики**

- методика НМУ щодо визначення ГДВ
- моделювання розсіювання забруднювачів у атмосфері (AERMOD, CALPUFF)

#### **4. Оцінка ефективності очисних систем**

Визначають за формулою:

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

де  $C_{\text{вх}}$  — концентрація забруднювача до очищення,  $C_{\text{вих}}$  — після очищення.

### **1.5.5. Інтегрований моніторинг**

Сучасні екологічно орієнтовані підприємства впроваджують комбіновані системи контролю:

- онлайн-моніторинг шуму
- автоматичні станції контролю викидів
- системи збору даних SCADA
- дистанційний контроль стану фільтрів та вентиляторів

Це дозволяє встановити причини перевищень та оптимізувати виробничі режими.

Систематичний контроль шуму та атмосферних викидів є основою екологічної безпеки деревообробних підприємств. Використання сучасних вимірювальних технологій, інструментальних методів та систем автоматизованого моніторингу дозволяє своєчасно виявляти ризики, підвищувати ефективність очисних систем та забезпечувати відповідність екологічним нормам України та міжнародним стандартам.

## **Розділ 2. Сучасні технологічні рішення з мінімізації шумового та атмосферного забруднення**

### **2.1. Технічні та конструктивні заходи зниження шуму (шумоізоляція, демпфування, бар'єри)**

Зменшення шумового навантаження на деревообробних підприємствах досягається шляхом впровадження конструктивних рішень, спрямованих на локалізацію джерела шуму, ізоляцію операторів від шумової зони та поглинання акустичної енергії. Найефективнішими є заходи, які одночасно впливають на джерело, шлях передачі та місце впливу шуму.

#### **Основні підходи до зниження шуму**

##### **1. Шумоізоляція**

- зменшує передачу звуку через огорожувальні конструкції;
- застосовується для ізоляції компресорних, вентиляторів, циклонів, рубальних механізмів;
- матеріали: мінеральна вата, акустичний поролон, сендвіч-панелі з шумопоглинанням.

##### **2. Демпфування**

- знижує рівень вібрацій, які є джерелом шуму;
- використовується для двигунів, станин верстатів, трубопроводів;
- застосовуються антивібраційні опори, амортизатори, демпфувальні прокладки.

##### **3. Шумозахисні бар'єри**

- встановлюються між шумовим джерелом та робочими місцями;
- можуть бути стаціонарними або мобільними;
- виготовляються зі звукопоглинальних та звуконепроникних матеріалів.

##### **4. Акустичні кожухи**

- локалізують шум безпосередньо на джерелі;
- особливо ефективні для пилок, вентиляторів та фрезерних верстатів;
- забезпечують зниження шуму на 10–25 дБА.

## 5. Оптимізація технологічних режимів

- зменшення швидкості різання;
- балансування ріжучого інструмента;
- регулярне технічне обслуговування для зменшення вібрацій.

**Таблиця 3. Основні технічні рішення для зниження шуму та їх ефективність**

Технологічний захід	Призначення	Матеріали / конструкція	Орієнтовне зниження шуму, дБА
Шумоізоляційні панелі	Зменшення проникнення звуку через стіни та перегородки	Мінеральна вата, гіпсокартон, акустичні сендвіч-панелі	5–15
Демпфувальні елементи	Зниження вібрацій обладнання	Гумові опори, пружинні амортизатори, поліуретанові прокладки	5–12
Шумозахисні бар'єри	Екранування робочих місць	Металеві або полімерні щити з шумопоглинанням	8–18
Акустичні кожухи на верстатах	Локалізація шуму на джерелі	Металевий корпус + акустичний наповнювач	10–25
Оптимізація режимів роботи	Зниження рівня механічного та аеродинамічного шуму	Зменшення оборотів, балансування дисків, заточка інструменту	3–10
Дистанційне винесення шумних агрегатів	Зменшення шуму в робочій зоні	Розміщення компресорів і вентиляторів у окремих приміщеннях	10–20

Технічні та конструктивні рішення з шумозниження дозволяють значно зменшити рівень шуму як у робочих приміщеннях, так і на території підприємства. Найбільш ефективним є комбінований підхід, що включає шумоізоляцію, демпфування, використання акустичних кожухів та оптимізацію технологічних процесів. Впровадження таких рішень забезпечує покращення умов праці та відповідність екологічним нормативам.

## **2.2. Системи аспірації, фільтрації та уловлювання пилу**

Системи аспірації та фільтрації відіграють ключову роль у мінімізації атмосферного забруднення на деревообробних підприємствах. Їх основне завдання — відводити пил і дрібнодисперсні частинки безпосередньо з місця утворення та забезпечувати очищення повітря до нормативних показників. Для деревообробної промисловості найбільш характерними є багатоступеневі системи, що поєднують механічне уловлювання, фільтрацію та транспортування пилу.

### **2.2.1. Системи аспірації**

Аспірація забезпечує:

- відведення пилу від деревообробного обладнання
- підтримання нормального мікроклімату у виробничих приміщеннях
- зниження ризиків вибухонебезпечності пилоповітряних сумішей
- зменшення викидів пилу у повітря робочої зони

Основні елементи системи аспірації:

- вентиляційні канали
- циклони або фільтри
- вентилятори високого тиску
- шлангові відводи від обладнання
- бункери або контейнери для збору відходів

### **2.2.2. Технології фільтрації повітря**

#### **1. Циклонні пиловловлювачі**

- призначені для грубодисперсного пилу ( $> 10$  мкм) • ефективність уловлювання: 70–90 % • основний принцип: відцентрова сепарація

## **2. Рукавні фільтри (багатокамерні)**

- найбільш поширене рішення у деревообробці • ефективність: 95–99 % • здатні уловлювати частинки до 1–2 мкм • можливість автоматичної регенерації тканини (імпульсне очищення)

## **3. Картриджні фільтри**

- ефективні для дрібного та середнього пилу • компактні, мають високу площу фільтрації • ефективність: 95–99 %

## **4. Вентилятори аспірації**

- забезпечують необхідну швидкість повітря в каналах • продуктивність 3000–25000 м<sup>3</sup>/год залежно від моделі

### **2.2.3. Системи транспортування та уловлювання пилу**

- пневмотранспортери для подачі пилу у бункери • шнекові конвеєри для подачі тирси • бункери-накопичувачі з герметизацією • брикетувальні комплекси як варіант утилізації відходів

**Таблиця 4. Характеристика систем аспірації та фільтрації, що застосовуються на деревообробних підприємствах**

<b>Тип обладнання</b>	<b>Принцип роботи</b>	<b>Ефективність</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Циклонний пиловловлювач	Відцентрове відокремлення частинок у вихровому потоці	70–90 %	Простота, низька вартість, надійність	Не уловлює дрібнодисперсний пил
Рукавний фільтр	Фільтрація через тканинні рукави, регенерація імпульсами повітря	95–99 %	Висока ефективність, стабільна робота	Потребує регулярної регенерації рукавів
Картриджний фільтр	Фільтрація через картриджі з полімерною мембраною	95–99 %	Компактність, велика площа фільтрації	Чутливість до перепадів тиску
Вентилятори високого тиску	Створення необхідної швидкості переміщення повітря	—	Стабільна аспірація, можливість роботи на великих відстанях	Зношення лопаток, аеродинамічний шум
Пневмотранспортери	Переміщення пилу повітряним потоком	—	Безпечна подача пилу до фільтрів або бункерів	Потребують герметичності
Бункери та контейнери	Збір пилу, тирси та стружки	—	Зручність зберігання, можливість подальшої утилізації	Необхідність регулярного очищення

Системи аспірації та фільтрації є ключовим елементом екологічної безпеки деревообробних підприємств. Використання багатоступневих рішень — циклонів, рукавних фільтрів, картриджних систем і високопродуктивних вентиляторів — забезпечує ефективне зменшення пилових викидів і підтримання нормативних показників якості повітря у виробничих приміщеннях та атмосфері.

### **2.3. Технології зменшення викидів ЛОС і газоподібних забруднень**

Леткі органічні сполуки (ЛОС) та газоподібні забруднення утворюються на деревообробних підприємствах переважно під час лакофарбових, клеєвих, сушильних процесів і при роботі котелень, що спалюють деревинні відходи. Їхня ефективна мінімізація є важливою умовою екологічної безпеки, зниження впливу на здоров'я працівників і відповідності нормативним вимогам.

Методи очищення ЛОС і газів поділяють на **технології руйнування забруднювачів, технології уловлювання**, а також **організаційно-технічні заходи з мінімізації їх утворення**.

#### **2.3.1. Термічні методи очищення ЛОС**

##### **1. Пряме термічне окиснення (ТО — Thermal Oxidation)**

• принцип: окиснення ЛОС при  $t = 750\text{--}850\text{ }^{\circ}\text{C}$  • ефективність: 95–99 % • застосування: сушильні камери, лакофарбові лінії

**Переваги:** надійність, підходить для широкого спектра ЛОС

**Недоліки:** високе енергоспоживання

##### **2. Регеративне термічне окиснення (RTO)**

• використання керамічних теплообмінників • ефективність: 98–99,5 %  
• економія енергії до 90 % порівняно зі звичайним ТО

RTO — найефективніша технологія для деревообробних сушильних та фарбувальних ліній.

### **2.3.2. Каталітичні методи очищення**

#### **Каталітичний окиснювач**

- температура процесу: 300–450 °С
- каталізатори: платина, паладій, оксиди металів
- ефективність: 90–98 %

Переваги: нижчі температури → менші енерговитрати. Недолік: чутливість каталізаторів до пилу та смол.

### **2.3.3. Адсорбційні технології**

#### **1. Адсорбери з активованим вугіллям**

- ефективність: 70–95 %
- працюють при низьких концентраціях ЛОС
- ЛОС накопичуються у шарі адсорбенту

Недоліки: періодична регенерація або заміна адсорбенту.

#### **2. Регенеративна адсорбція**

- чергуються колони, одна працює, інша — регенерується
- можливе повернення уловлених розчинників у процес

### **2.3.4. Абсорбційні методи**

#### **Газопромивачі (скрубери)**

- уловлюють ЛОС і гази шляхом контакту газу з рідиною
- ефективність: 60–90 %
- особливо ефективні для формальдегіду та водорозчинних ЛОС

Недолік: утворення стічної води, що потребує подальшої очистки.

### **2.3.5. Біологічні технології очищення**

#### **Біофільтри**

- використання мікроорганізмів для розкладання ЛОС
- ефективність: 70–95 %
- низькі експлуатаційні витрати

#### **Біоскрубери**

- поєднання абсорбції та біодеструкції • ефективність: 80–97 % •  
підходять для органічних сполук середньої концентрації

### **2.3.6. Зменшення газоподібних забруднень від котелень**

#### **Осаджувальні камери і циклони**

- уловлюють золу та пил, ефективність: 60–80 %

#### **Рукавні фільтри**

- ефективність: до 99 % • підходять для очищення диму від дрібнодисперсного пилу

#### **Системи селективного каталітичного відновлення (SCR)**

- зменшення NO<sub>x</sub> до 70–90 % • застосовують на великих котельнях

### **2.3.7. Організаційно-технологічні заходи з мінімізації викидів ЛОС**

- застосування водорозчинних ЛФМ • використання клеїв з низьким рівнем формальдегіду (E0, E1) • герметизація сушильних камер • оптимізація температури сушіння • регулярне технічне обслуговування вентиляційних систем

**Таблиця 5. Порівняльна характеристика технологій зменшення ЛОС і газоподібних забруднень**

Технологія	Ефективність	Переваги	Недоліки	Застосування
Пряме термічне окиснення	95–99 %	універсальність	висока вартість енергії	сушіння, лакофарбові лінії
RTO	98–99,5 %	економічність, стабільність	висока початкова вартість	середні та великі підприємства
Каталітичне окиснення	90–98 %	низька температура процесу	чутливість до пилу	ЛФМ, клеї
Адсорбери	70–95 %	проста експлуатація	регулярна заміна сорбенту	низькі концентрації ЛОС
Скрубери	60–90 %	універсальність	утворення стоків	водорозчинні ЛОС
Біофільтри	70–95 %	низькі витрати	обмеження по типах ЛОС	органічні випаровування
SCR (NO <sub>x</sub> )	70–90 %	ефективне зниження NO <sub>x</sub>	висока вартість каталізаторів	котельні

Для деревообробних підприємств найбільш ефективними є регенеративні термічні окиснювачі (RTO), каталітичні окиснювачі, адсорбційні системи та біофільтри, які здатні забезпечити відповідність європейським екологічним нормам щодо ЛОС та газів. Комбінація технологій дозволяє досягти максимального екологічного ефекту при оптимальних експлуатаційних витратах.

## **2.4. Організаційно-технологічні заходи з управління шумом і викидами**

Організаційно-технологічні заходи є важливою складовою комплексної системи екологічної безпеки деревообробних підприємств. На відміну від суто технічних рішень, вони спрямовані на оптимізацію виробничих процесів, підвищення культури експлуатації обладнання та забезпечення постійного контролю шумового та атмосферного впливу.

Поєднання організаційних та технологічних заходів дозволяє зменшити рівень шуму та викидів без значних фінансових інвестицій, підвищити ефективність роботи очисних систем та продовжити строк експлуатації обладнання.

### **2.4.1. Організаційні заходи з управління шумом**

Основні інструменти:

- оптимізація графіка роботи шумного обладнання (використання у проміжках найменшої присутності персоналу)
- чергування шумних і тихих операцій для зменшення сумарної експозиції працівників
- обмеження часу перебування працівників у зонах підвищеного шуму
- застосування індивідуальних засобів захисту (наушники, беруші)
- навчання працівників правильному користуванню шумозахисними засобами
- ведення журналу контролю шумового навантаження
- проведення регулярних аудиторських перевірок шумових характеристик обладнання

### **2.4.2. Технологічні заходи з управління шумом**

- впровадження менш шумних технологій та модернізація обладнання
- своєчасне змащення та налаштування верстатів для зменшення вібрацій
- балансування пилкових дисків та фрез
- використання інструменту з низьким шумовим рівнем (антишумові пилки)
- заміна застарілих вентиляторів на моделі з аеродинамічно оптимізованими лопатями

### **2.4.3. Організаційні заходи з контролю атмосферних викидів**

- регулярний контроль та протоколювання концентрацій пилу і ЛОС
- ведення паспортів фільтрів і вентиляційного обладнання
- впровадження системи екологічного менеджменту ISO 14001
- оптимізація вентиляції та робочих режимів сушильних камер
- своєчасна заміна фільтрокартриджів і тканинних рукавів
- раціональне зберігання ЛФМ для мінімізації випаровування

### **2.4.4. Технологічні заходи з управління атмосферними викидами**

- установка датчиків контролю повітря (PM10, PM2.5, VOC)
- впровадження автоматичного моніторингу роботи аспіраційних систем
- герметизація вентиляційних каналів та шахт для зменшення втрат повітря
- встановлення додаткових фільтраційних ступенів на проблемних ділянках
- проведення регулярного технічного обслуговування вентиляторів та циклонів
- модернізація систем транспортування тирси (виключення відкритих ділянок)

### **2.4.5. Управлінські та адміністративні інструменти**

Ефективне управління процесами включає:

- впровадження внутрішніх регламентів щодо роботи шумного обладнання
- розробку інструкцій з експлуатації систем аспірації та фільтрації
- призначення відповідальних осіб за екологічну безпеку цехів
- проведення щоквартальних внутрішніх аудитів
- розробку планів реагування у разі аварійних викидів ЛОС чи пилу
- забезпечення працівників відповідними засобами індивідуального захисту

### **2.4.6. Комунікаційні та інформаційні заходи**

- проведення інструктажів з охорони праці та екобезпеки
- інформування персоналу про рівні шуму та якості повітря у виробничих

приміщеннях • розміщення попереджувальних знаків у зонах підвищеного шуму чи викидів • регулярне оновлення екологічної документації

Організаційно-технологічні заходи є невід'ємною частиною комплексної системи зменшення шумового та атмосферного забруднення. Їх реалізація дозволяє:

- стабілізувати роботу очисних систем
- зменшити експозицію працівників до шкідливих факторів
- забезпечити відповідність підприємства нормативам
- мінімізувати ризики аварійних викидів
- підвищити загальну екологічну культуру виробництва

Поєднання технічних та організаційних рішень формує сталу систему екологічного управління, що відповідає сучасним вимогам державних і міжнародних стандартів.

## **2.5. Порівняльний аналіз ефективності різних методів зменшення шуму та забруднення**

Для вибору оптимальних рішень із мінімізації шумового та атмосферного забруднення на деревообробних підприємствах необхідно оцінювати ефективність кожного методу за низкою критеріїв: технічна результативність, енергоефективність, економічна доцільність, простота впровадження, відповідність нормативам та рівень експлуатаційних витрат.

Порівняння різних категорій методів показує, що найвищу ефективність дає поєднання конструктивних, технологічних і організаційних заходів, оскільки вони впливають на різні етапи формування шуму та викидів.

### **2.5.1. Порівняння методів зменшення шуму**

Методи шумозниження оцінюються за критеріями: зниження рівня шуму, вартість впровадження, простота експлуатації та сумісність із наявним обладнанням.

### **2.5.2. Порівняння методів очищення повітря та зменшення викидів пилу і ЛОС**

Для технологій очищення атмосферного повітря враховують ефективність уловлювання, енергоспоживання, потребу в обслуговуванні та здатність працювати з різними концентраціями і типами забруднювачів.

**Таблиця 6. Порівняльна характеристика методів зменшення шуму та атмосферного забруднення**

<b>Категорія методу</b>	<b>Підхід</b>	<b>Ефективність</b>	<b>Вартість впровадження</b>	<b>Переваги</b>	<b>Обмеження</b>
<b>Шумоізоляція</b>	Панелі, перегородки, акустичні кожухи	10–25 дБА	Середня	Простота впровадження, зменшення шуму у локальних зонах	Не знижує шум на джерелі
<b>Демпфування</b>	Антивібраційні опори, прокладки	5–12 дБА	Низька	Зменшує вібраційний шум, продовжує строк служби обладнання	Менш ефективно для аеродинамічного шуму
<b>Бар'єри та екрани</b>	Мобільні та стаціонарні екрани	8–18 дБА	Середня	Підходять для зон із постійним шумом	Не підходять для мобільного обладнання
<b>Оптимізація режимів</b>	Налаштування швидкості, балансування інструмента	3–10 дБА	Низька	Мінімальні витрати, профілактичний ефект	Ефективність залежить від стану обладнання
<b>Циклонні фільтри</b>	Механічне відокремлення частинок	70–90 %	Низька	Дешеве рішення для грубого пилу	Не працює з дрібним пилом
<b>Рукавні фільтри</b>	Тканинна фільтрація	95–99 %	Середня	Універсальність, стабільні показники	Потребують регенерації
<b>Картриджні фільтри</b>	Мембранна фільтрація	95–99 %	Середня	Компактність, висока площа фільтрації	Чутливість до зношення

<b>Скрубери</b>	Мокре очищення газів	60–90 %	Середня	Ефективні для водорозчинних ЛОС	Потребують очищення стоків
<b>Адсорбери (вугілля)</b>	Поглинання ЛОС	70–95 %	Середня-висока	Підходять для низьких концентрацій	Регулярна заміна сорбенту
<b>Каталітичні окиснювачі</b>	Окиснення ЛОС при низьких температурах	90–98 %	Висока	Низька витрата енергії	Каталізатор чутливий до пилу
<b>Регеративні термічні окиснювачі (RTO)</b>	Високотемпературне окиснення з регенерацією тепла	98–99,5 %	Висока	Найвищий рівень очищення	Велика початкова інвестиція
<b>Біофільтри / біоскрубери</b>	Мікробіологічна деструкція ЛОС	70–97 %	Низька-середня	Енергоощадність	Обмежений спектр придатних ЛОС

Порівняння методів дозволяє зробити такі висновки:

- 1. Найефективнішими технологіями зниження викидів ЛОС є RTO та каталітичне окиснення, оскільки вони забезпечують майже повне руйнування органічних сполук.**
- 2. Для пилу найкраще працюють рукавні та картриджні фільтри, які забезпечують очищення понад 95–99 % навіть для дрібних частинок.**
- 3. Комбінація циклонів і рукавних фільтрів є оптимальною для деревообробних підприємств із високими пиловими навантаженнями.**
- 4. Шумозниження є найбільш ефективним при поєднанні демпфування, акустичних кожухів та оптимізації режимів роботи обладнання.**

5. **Організаційно-технологічні заходи** підсилюють ефективність технічних рішень і продовжують термін служби систем очищення та шумозахисту.

Порівняльний аналіз показує, що для деревообробних підприємств немає універсального рішення; найкращий результат досягається завдяки комплексному підходу, який включає технічні, організаційні та технологічні заходи. Такий підхід дозволяє значно зменшити шумові навантаження, скоротити концентрації пилу та ЛОС, забезпечити відповідність екологічним нормам та підвищити безпеку працівників.

### **Розділ 3. Діагностика шумового та атмосферного забруднення в деревообробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу**

**3.1. Коротка характеристика майстерні та виробничих процесів**  
**Деревообробну майстерню Кременецького лісотехнічного фахового коледжу** можна розглядати як середнє за потужністю деревообробне виробництво що спеціалізується на комплексній переробці деревини з випуском продукції для меблевої та будівельної галузей.

Загальна площа виробничого майданчика становить орієнтовно 700 м<sup>2</sup>. В майстерні функціонує кілька основних виробничих ділянок:

- ділянка первинної обробки деревини (розкрязування, розпилювання колод);
- сушильний комплекс;
- ділянка вторинної механічної обробки (фрезерування, рейсмусування, шліфування);
- ділянка склеювання та збирання щитових заготовок;
- лакофарбова ділянка (нанесення ЛФМ);
- ділянка пакування та відвантаження готової продукції;
- котельня на деревинних відходах.

Основною сировиною є круглі лісоматеріали хвойних і твердолистяних порід (сосна, ялина, бук, дуб), що надходять від лісгоспів Львівської та сусідніх областей. Основні види готової продукції: меблеві заготовки, щитові елементи, клеєні панелі, комплектуючі для меблів та будівельні елементи з масиву деревини. Частина продукції орієнтована на експорт до країн ЄС, що обумовлює необхідність дотримання підвищених екологічних стандартів.

Виробництво організовано переважно у однозмінному режимі (загалом 6 год/добу). Рівень механізації та автоматизації типово відповідає

сучасному середньому деревообробному підприємству Західної України: використовується поєднання напівавтоматизованих ліній та окремих верстатів із ручною подачею.

Технологічний процес переробки деревини включає такі основні етапи:

- приймання та сортування сировини;
- первинне розпилювання колод на стрічкових та рамних пилорамах;
- сушіння пиломатеріалів у конвекційних сушильних камерах;
- вторинна механічна обробка (фрезерування, рейсмусування, калібрування, шліфування);
- операції зі склеювання, пресування та формування щитових заготовок;
- шліфування та фінішна обробка поверхонь;
- нанесення лакофарбових матеріалів (розпиленням у фарбувальних камерах);
- контроль якості, пакування та відвантаження готових виробів.

У процесах механічної обробки деревини (розпилювання, фрезерування, шліфування) утворюються значні обсяги деревного пилу та стружки. Для їх видалення на підприємстві використовується централізована система аспірації, що включає мережу повітропроводів, кілька високонапірних вентиляторів, циклонні пиловловлювачі та рукавний фільтр для тонкого очищення повітря. Вловлені відходи (тирса, стружка, пил) транспортуються до бункерів та частково спрямовуються як паливо у котельню.

Лакофарбова дільниця включає одну фарбувальну камеру з примусовою вентиляцією та фільтрувальними елементами для уловлювання

аерозолів ЛФМ. Тут формуються основні викиди ЛОС (розчинники, смолисті компоненти), а також тонкодисперсний аерозоль лакофарбових матеріалів.

Котельня, що працює на деревинних відходах, забезпечує тепловою енергією сушильні камери та частину виробничих приміщень. У процесі спалювання утворюються димові гази, що містять оксид вуглецю, оксиди азоту, золу та дрібнодисперсний пил; їх очищення здійснюється через циклон.

Таким чином, виробнича структура деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу є типовою для сучасного деревообробного підприємства регіону: поєднання високопродуктивних механічних процесів, сушіння та нанесення лакофарбових покриттів формує комплексний вплив на навколишнє середовище у вигляді шумового та атмосферного забруднення. Це обґрунтовує необхідність детальної діагностики шумових рівнів та концентрацій забруднювачів, що буде розглянуто у наступних підпунктах.

### **3.2. Аналіз рівня шумового навантаження у виробничих зонах**

Оцінка рівня шумового навантаження на деревообробна майстерня Кременецького лісотехнічного фахового коледжу проводилась з метою визначення відповідності фактичних рівнів шуму санітарно-гігієнічним нормам та виявлення найбільш проблемних виробничих зон. Вимірювання здійснювались у характерних точках основних ділянок під час нормального технологічного режиму роботи обладнання.

Контроль шуму проводився із застосуванням портативного шумоміра класу точності 1, з урахуванням еквівалентного рівня шуму  $L_{Aeq}$  та максимального рівня  $L_{max}$ . Вимірювання виконувалися на висоті 1,5 м від

рівня підлоги на відстані 1–2 м від працюючого обладнання, відповідно до вимог ДСТУ ISO 1996-1.

### **Основні зони контролю шуму**

Для аналізу було обрано такі виробничі дільниці:

- дільниця первинного розпилювання деревини;
- дільниця вторинної механічної обробки (фрезерування, рейсмусування);
- шліфувальна дільниця;
- сушильний комплекс;
- лакофарбова дільниця;
- зона роботи аспіраційних вентиляторів;
- котельня на деревинних відходах.

### **Результати вимірювань шуму**

Отримані результати свідчать, що рівень шуму в майстерні перевищує або наближається до гранично допустимих значень, особливо у зонах з інтенсивною механічною обробкою та поблизу аспіраційного обладнання.

Таблиця 7. Рівні шумового навантаження у виробничих зонах деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу

<b>Виробнича зона</b>	<b>Основне обладнання</b>	<b>L<sub>Aeq</sub>, дБА</b>	<b>L<sub>max</sub>, дБА</b>	<b>Допустимий рівень, дБА</b>	<b>Оцінка відповідності</b>
Первинне розпилювання	Стрічкова пила, рамна пила	96–101	105–108	85	Перевищення
Вторинна обробка	Фрезерні, рейсмусові верстати	92–98	100–104	85	Перевищення
Шліфувальна дільниця	Стрічкові та дискові шліфмашини	88–93	95–99	85	Перевищення
Сушильний комплекс	Вентилятори сушильних камер	80–85	88–90	85	На межі норми
Лакофарбова дільниця	Фарбувальні камери, вентилятори	78–83	85–88	85	Відповідає
Аспіраційні установки	Високонапірні вентилятори	90–97	100–103	85	Перевищення
Котельня	Дуттьові вентилятори, шнеки	85–90	92–95	85	Часткове перевищення

### **Аналіз отриманих результатів**

Результати вимірювань дозволяють зробити такі висновки:

- найбільші рівні шуму зафіксовані на дільницях первинного розпилювання та вторинної механічної обробки;

- значний внесок у шумове навантаження роблять аспіраційні вентилятори, що працюють у безперервному режимі;
- шліфувальні операції формують стабільно підвищений шумовий фон;
- сушильний та лакофарбовий комплекси характеризуються відносно нижчими рівнями шуму, але потребують постійного контролю;
- котельня створює фонове шумове навантаження, яке в окремі періоди перевищує нормативні значення.

### **Оцінка ризиків для персоналу**

Тривала робота в умовах шуму понад 85 дБА без достатніх засобів індивідуального захисту може призводити до:

- зниження слуху;
- підвищеної втоми та стресу;
- зниження концентрації уваги;
- підвищеного ризику виробничого травматизму.

Тому отримані результати підтверджують необхідність впровадження додаткових шумозахисних заходів на найбільш навантажених ділянках підприємства.

Аналіз шумового навантаження деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу показав, що в окремих виробничих зонах рівень шуму перевищує допустимі санітарні норми. Найбільш проблемними є ділянки механічної обробки деревини та зони роботи аспіраційних установок. Це обґрунтовує необхідність подальшого впровадження технічних і організаційних заходів зі зниження шумового впливу, які будуть розглянуті у наступних підрозділах.

### **3.3. Оцінка концентрацій пилу, ЛОС та газоподібних викидів**

Оцінка концентрацій пилу, летких органічних сполук (ЛОС) та газоподібних забруднювачів деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу проводилась з метою визначення фактичного рівня атмосферного навантаження та відповідності чинним екологічним нормативам. Вимірювання здійснювались у характерних точках виробничих ділянок у робочий час за стабільних режимів роботи обладнання.

Для контролю використовувались портативні пиломіри для визначення масової концентрації зважених частинок, газоаналізатори для вимірювання СО та NO<sub>x</sub>, а також індикаторні трубки й лабораторний аналіз проб повітря для визначення концентрацій ЛОС. Результати порівнювались із гранично допустимими концентраціями, встановленими санітарними нормами України та рекомендаціями ЄС.

#### **Зони контролю атмосферних забруднень**

Оцінка проводилась у таких виробничих зонах: • ділянка первинного та вторинного розпилювання; • шліфувальна ділянка; • зона роботи аспіраційних систем; • сушільний комплекс; • лакофарбова ділянка; • котельня на деревинних відходах; • межа санітарно-захисної зони підприємства.

**Таблиця 8. Концентрації пилу, ЛОС та газоподібних забруднювачів в деревообробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу**

Виробнича зона	Пил, мг/м <sup>3</sup>	PM2.5, мг/м <sup>3</sup>	ЛОС, мг/м <sup>3</sup>	СО, мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Оцінка
Первинне розпилювання	6,5–9,8	1,8–2,6	–	–	–	Пил 4,0	Перевищення
Вторинна обробка	4,2–6,9	1,2–1,9	–	–	–	Пил 4,0	Часткове перевищення
Шліфувальна дільниця	5,8–8,5	2,0–2,8	–	–	–	Пил 4,0	Перевищення
Зона аспірації	3,5–5,2	1,0–1,6	–	–	–	Пил 4,0	На межі
Сушильний комплекс	1,2–2,0	0,4–0,7	20–45	–	–	ЛОС 100	Відповідає
Лакофарбова дільниця	0,8–1,5	0,3–0,6	85–140	–	–	ЛОС 100	Часткове перевищення
Котельня	1,5–2,8	0,6–1,1	–	15–35	120–210	СО 50 NO <sub>x</sub> 200	Часткове перевищення
СЗЗ підприємства	0,15–0,35	0,05–0,12	5–15	1–5	15–40	Відповідає	Відповідає

*Примітка: значення наведені як діапазони за різних режимів роботи обладнання.*

### **Аналіз результатів вимірювань**

Отримані дані свідчать про таке:

- найбільші концентрації пилу зафіксовані на дільницях розпилювання та шліфування;

- дрібнодисперсний пил PM<sub>2.5</sub> присутній у всіх виробничих зонах механічної обробки;
- система аспірації знижує концентрацію пилу, проте у пікові періоди не забезпечує повної відповідності нормативам;
- концентрації ЛОС у сушильному комплексі переважно відповідають нормам;
- на лакофарбовій дільниці періодично фіксуються перевищення допустимих концентрацій ЛОС;
- у котельні зафіксовані підвищені концентрації NO<sub>x</sub> при піковому навантаженні;
- на межі санітарно-захисної зони концентрації забруднювачів не перевищують допустимих значень.

### **Вплив на виробниче середовище**

Підвищені концентрації пилу та ЛОС у робочих зонах створюють ризики: • для органів дихання персоналу; • розвитку професійних захворювань; • утворення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей; • зниження якості повітря у виробничих приміщеннях.

Оцінка концентрацій пилу, ЛОС та газоподібних викидів деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу показала, що основними джерелами атмосферного навантаження є процеси механічної обробки деревини, лакофарбові операції та котельня. У низці виробничих зон зафіксовано перевищення або наближення до гранично допустимих концентрацій, що підтверджує необхідність удосконалення систем аспірації, фільтрації та очищення газоподібних викидів.

### **3.4. Визначення слабких місць у системах шумозахисту та очищення повітря**

На основі результатів вимірювань рівнів шуму та концентрацій атмосферних забруднювачів, а також аналізу конструктивних і експлуатаційних характеристик наявного обладнання, було проведено оцінку ефективності діючих систем шумозахисту та очищення повітря деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу. Аналіз дозволив виявити низку технічних, конструктивних та організаційних слабких місць, що знижують загальну екологічну ефективність підприємства.

#### **3.4.1. Слабкі місця систем шумозахисту**

##### **1. Відсутність локалізації шуму на джерелі**

На більшості верстатів механічної обробки деревини відсутні акустичні кожухи або локальні шумоізоляційні екрани. У результаті шум поширюється у весь виробничий простір, формуючи високий фоновий рівень.

##### **2. Недостатнє демпфування вібрацій**

Частина обладнання встановлена без антивібраційних опор або з частково зношеними амортизаторами. Це призводить до передачі вібрацій на металеві конструкції, перекриття та вентиляційні канали, що підсилює шум.

##### **3. Високий аеродинамічний шум аспіраційних вентиляторів**

Вентилятори високого тиску є суттєвим джерелом шуму через: • високу швидкість повітряного потоку; • зношеність крильчаток; • відсутність шумоглушників на вході та виході повітря.

##### **4. Недостатнє екранування робочих місць**

Робочі місця операторів розташовані в безпосередній близькості до шумних агрегатів без стаціонарних шумозахисних бар'єрів, що збільшує індивідуальну шумову експозицію.

## **5. Обмежене застосування індивідуальних засобів захисту**

Хоча підприємство забезпечує працівників навушниками або берушами, їх використання не є систематичним, а контроль за дотриманням вимог — недостатній.

### **3.4.2. Слабкі місця систем очищення повітря**

#### **1. Недостатня ефективність аспірації на окремих верстатах**

Частина деревообробного обладнання підключена до аспіраційної системи через довгі або негерметичні повітропроводи, що знижує швидкість повітря та ефективність відбору пилу.

#### **2. Нерівномірний розподіл повітряних потоків**

Аспіраційна мережа не має достатнього балансування, унаслідок чого:

- на деяких ділянках спостерігається перевантаження фільтрів;
- інші точки відбору працюють із заниженою ефективністю.

#### **3. Зношення та несвоєчасна регенерація фільтрувальних елементів**

Рукавні та картриджні фільтри мають ознаки зношення, що проявляється у:

- підвищеному опорі потоку;
- зменшенні ефективності уловлювання дрібнодисперсного пилу;
- періодичних вторинних викидах пилу.

#### **4. Обмежена ефективність очищення ЛОС**

Існуючі вентиляційні та фільтрувальні рішення на лакофарбовій ділянці забезпечують уловлювання аерозолів, але не повною мірою видаляють газоподібні ЛОС, що призводить до періодичних перевищень нормативів.

#### **5. Відсутність безперервного автоматизованого моніторингу**

Контроль концентрацій пилу та ЛОС здійснюється переважно періодично, що унеможливорює оперативне реагування на пікові навантаження та аварійні ситуації.

### **3.4.3. Організаційні та експлуатаційні недоліки**

- недостатня частота профілактичного обслуговування вентиляційних систем;
- відсутність чітких регламентів балансування аспіраційної мережі;
- обмежений облік фактичної ефективності очисних систем;
- недостатній рівень навчання персоналу з питань екологічної безпеки;
- відсутність інтегрованої системи управління шумом і викидами.

Виявлені слабкі місця свідчать, що існуючі системи шумозахисту та очищення повітря в деревообробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу загалом виконують базові функції, проте не забезпечують стабільного дотримання нормативних вимог у пікові періоди роботи обладнання. Основні проблеми пов'язані не лише з технічними характеристиками обладнання, а й з експлуатаційними та організаційними аспектами.

### **Висновок .**

Визначення слабких місць у системах шумозахисту та очищення повітря підтвердило необхідність комплексної модернізації майстерні. Подальше підвищення екологічної ефективності можливе лише за умови поєднання технічних рішень (шумоізоляція, фільтрація, уловлювання ЛОС) із організаційно-технологічними заходами та впровадженням систем постійного моніторингу.

### **3.5. Відповідність показників екологічним нормативам**

Оцінка відповідності показників шумового та атмосферного забруднення екологічним нормативам є завершальним етапом діагностики екологічного стану деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного

фахового коледжу. аналіз здійснювався шляхом порівняння фактично вимірних значень рівнів шуму та концентрацій забруднювачів з гранично допустимими показниками, встановленими чинним законодавством України, а також із рекомендованими європейськими нормативами.

### **3.5.1. Відповідність рівнів шуму нормативним вимогам**

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 гранично допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 85 дБА. Порівняння результатів вимірювань із нормативами показало, що на окремих ділянках підприємства спостерігаються систематичні перевищення допустимих значень.

**Таблиця 9. Відповідність рівнів шуму нормативам вдеревобробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу**

<b>Виробнича зона</b>	<b>Фактичний LAeq, дБА</b>	<b>Норматив, дБА</b>	<b>Відповідність</b>
Первинне розпилювання	96–101	85	Не відповідає
Вторинна механічна обробка	92–98	85	Не відповідає
Шліфувальна ділянка	88–93	85	Частково не відповідає
Аспіраційні установки	90–97	85	Не відповідає
Котельня	85–90	85	На межі
Сушільний комплекс	80–85	85	Відповідає
Лакофарбова ділянка	78–83	85	Відповідає

### 3.5.2. Відповідність концентрацій атмосферних забруднювачів

Оцінка відповідності концентрацій пилю, ЛОС та газоподібних забруднювачів здійснювалась згідно з ДСН, ДСП та нормативами гранично допустимих викидів. Аналіз показав, що більшість показників на межі санітарно-захисної зони відповідають нормативам, однак у робочих зонах фіксуються локальні перевищення.

**Таблиця 10. Відповідність концентрацій забруднювачів нормативам**

<b>Забруднювач</b>	<b>Виробнича зона</b>	<b>Фактична концентрація, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>ГДК, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>Відповідність</b>
Деревний пил	Розпилювання	6,5–9,8	4,0	Не відповідає
Деревний пил	Шліфування	5,8–8,5	4,0	Не відповідає
Деревний пил	Зона аспірації	3,5–5,2	4,0	Частково
PM2.5	Виробничі зони	1,2–2,8	3,0	Відповідає
ЛОС	Лакофарбова дільниця	85–140	100	Частково
ЛОС	Сушильний комплекс	20–45	100	Відповідає
СО	Котельня	15–35	50	Відповідає
NO <sub>x</sub>	Котельня	120–210	200	Частково

### **3.5.3. Відповідність на межі санітарно-захисної зони**

Результати вимірювань на межі санітарно-захисної зони підприємства показали: • концентрації пилу та ЛОС нижчі за гранично допустимі; • відсутність перевищень за СО та NO<sub>x</sub>; • шумовий фон відповідає нормативам для житлової забудови.

Це свідчить про локальний характер перевищень, що обмежуються виробничими приміщеннями та не створюють значного негативного впливу на прилеглі житлові території.

#### **Узагальнена оцінка відповідності**

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

- показники атмосферного забруднення загалом відповідають екологічним вимогам на рівні СЗЗ;
- локальні перевищення пилу та ЛОС у виробничих зонах потребують технічних і організаційних коригувань;
- шумове навантаження є найбільш проблемним фактором з точки зору відповідності нормативам;
- існуючі системи потребують модернізації для стабільного дотримання норм при пікових режимах роботи.

Аналіз відповідності показників екологічним нормативам показав, що деревообробна майстерня Кременецького лісотехнічного фахового коледжу загалом дотримується вимог щодо впливу на навколишнє середовище за межами підприємства, однак у виробничих зонах наявні перевищення допустимих рівнів шуму та пилу, а також періодичні перевищення концентрацій ЛОС. Це обґрунтовує необхідність розробки та впровадження комплексу заходів з удосконалення систем шумозахисту та очищення повітря, що буде розглянуто у наступному розділі.

## **Розділ 4. Обґрунтування та розробка комплексу заходів зі зменшення шумового та атмосферного забруднення**

### **4.1. Запропоновані технічні рішення щодо зменшення шуму**

На основі результатів аналізу шумового навантаження та виявлених слабких місць у системах шумозахисту деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу запропоновано комплекс технічних рішень, спрямованих на зниження рівня шуму безпосередньо у виробничих зонах та зменшення шумової експозиції працівників. Запропоновані заходи орієнтовані на вплив на джерело шуму, шляхи його поширення та робоче місце оператора.

#### **4.1.1. Локалізація шуму на джерелі**

##### **Встановлення акустичних кожухів на шумне обладнання**

Пропонується оснащення стрічкових і циркулярних пилок, фрезерних та рейсмусових верстатів акустичними кожухами з комбінованою конструкцією: • зовнішній шар — метал або щільний полімер; • внутрішній шар — звукопоглинальний матеріал (мінеральна вата, акустичний поролон).

Очікуваний ефект: зниження рівня шуму на 10–20 дБА без суттєвого впливу на технологічний процес.

#### **Рисунок 1 Акустичний кожух для деревообробного верстата з комбінованою конструкцією**



#### **4.1.2. Зменшення вібраційного шуму**

## **Використання антивібраційних опор та демпферів**

Для обладнання з високим рівнем механічних коливань пропонується:

- монтаж гумо-металевих або пружинних антивібраційних опор;
- заміна зношених амортизаторів;
- встановлення демпфувальних прокладок між обладнанням та фундаментом.

Очікуваний ефект: зниження структурного шуму на 5–10 дБА та зменшення зношення обладнання.

### **4.1.3. Зниження аеродинамічного шуму аспіраційних систем**

#### **Модернізація вентиляційного обладнання**

Пропонується:

- заміна застарілого вентилятора на модель з аеродинамічно оптимізованими лопатями;
- встановлення шумоглушників на всмоктувальних і нагнітальних каналах;
- зменшення швидкості повітря у повітропроводах шляхом оптимізації їх діаметра.

Очікуваний ефект: зниження шуму аспіраційних установок на 8–15 дБА.

### **4.1.4. Екранування робочих місць**

#### **Встановлення стаціонарних і мобільних шумозахисних екранів**

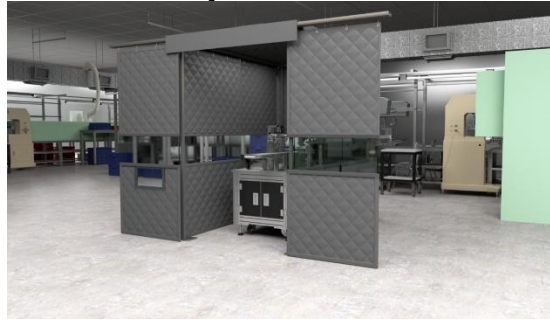
Пропонується монтаж акустичних екранів між шумним обладнанням та робочими місцями операторів.

Конструкція екранів передбачає:

- звуконепроникний каркас;
- звукопоглинальне покриття з боку джерела шуму.

Очікуваний ефект: зменшення шуму в зоні перебування працівників на 5–15 дБА.

### **Рисунок 3 Екранування робочого місця за допомогою акустичного екрана**



#### **4.1.5. Оптимізація технологічних режимів**

Для додаткового зниження шуму пропонується:

- балансування пилкових дисків і фрез;
- використання інструменту з пониженим рівнем шуму;
- зниження надмірних обертів різального інструменту без втрати продуктивності;
- регулярне технічне обслуговування обладнання.

Очікуваний ефект: зниження шуму на 3–7 дБА та стабілізація шумового фону.

#### **4.1.6. Засоби індивідуального та локального захисту**

Як додатковий захід передбачається: • використання активних або пасивних протишумових навушників; • облаштування операторських кабін із шумоізоляцією для найбільш шумних ділянок.

Очікуваний ефект: зменшення індивідуальної шумової експозиції на 20–30 дБА.

#### **Узагальнення ефективності запропонованих рішень**

Реалізація запропонованого комплексу технічних заходів дозволить: • знизити рівень шуму на ключових виробничих ділянках до нормативних значень; • зменшити ризики професійних захворювань; • покращити умови

праці персоналу; • забезпечити відповідність вимогам санітарних норм і стандартів охорони праці.

Запропоновані технічні рішення щодо зменшення шуму є доцільними з технічної та економічної точок зору й можуть бути впроваджені поетапно без суттєвого порушення виробничого процесу. Найбільший ефект досягається при комплексному застосуванні заходів, спрямованих на локалізацію шуму на джерелі, зменшення вібрацій та екранування робочих місць.

## **4.2. Модернізація систем аспірації та фільтрації повітря**

З урахуванням результатів оцінки концентрацій пилу та ефективності діючих аспіраційних установок в деревообробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу, а також виявлених слабких місць, запропоновано комплекс заходів з модернізації систем аспірації та фільтрації повітря. Основною метою модернізації є підвищення ефективності уловлювання пилу, стабілізація повітряних потоків та забезпечення відповідності нормативним вимогам у виробничих зонах.

### **4.2.1. Оптимізація аспіраційної мережі**

#### **Балансування повітропроводів**

Пропонується провести гідравлічне балансування аспіраційної системи шляхом:

- встановлення регулювальних заслінок на відгалуженнях;
- вирівнювання швидкостей повітря у повітропроводах до оптимальних значень 18–22 м/с;
- скорочення надмірної довжини повітропроводів та усунення різких поворотів.

Очікуваний ефект: підвищення ефективності відбору пилу на 10–15 % та зменшення втрат тиску.

#### **4.2.2. Герметизація аспіраційних каналів**

Пропонується:

- усунення нещільностей у з'єднаннях повітропроводів;
- заміна зношених гнучких вставок;
- застосування ущільнювальних матеріалів у місцях підключення

верстатів.

Очікуваний ефект: зменшення вторинного пиління та втрат повітряного потоку, стабілізація роботи вентиляторів.

#### **4.2.3. Модернізація пиловловлювального обладнання**

##### **Комбінування циклонів та рукавних фільтрів**

Пропонується впровадження двоступеневої системи очищення:

- перший ступінь — циклон для уловлювання грубого пилу;
- другий ступінь — рукавний фільтр для тонкого очищення.

Очікуваний ефект: підвищення загальної ефективності очищення повітря до 98–99 %.

#### **4.2.4. Заміна та вдосконалення фільтрувальних елементів**

Для підвищення ефективності очищення пропонується:

- використання антистатичних фільтрувальних тканин;
- встановлення рукавів із мембранним покриттям для уловлювання PM2.5;
- впровадження автоматичної імпульсної регенерації фільтрів.

Очікуваний ефект: зниження концентрації дрібнодисперсного пилу у викидах на 20–30 %.

#### **4.2.5. Модернізація вентиляційного обладнання**

##### **Заміна вентиляторів**

Пропонується встановлення енергоефективних вентиляторів із частотним регулюванням, що дозволяє:

- адаптувати продуктивність до

реального навантаження; • зменшити енергоспоживання на 15–25 %; • знизити аеродинамічний шум.

#### 4.2.6. Вибір екологічно безпечних ЛФМ

Сучасні екологічно безпечні лакофарбові матеріали характеризуються:

низьким вмістом ЛОС (менше 50 г/л, відповідно до європейських директив);

відсутність токсичних розчинників (ксилол, толуол, формальдегід);

використанням водної основи або натуральних компонентів (віск, олії, смоли);

наявністю сертифікатів екологічної безпеки (Ecolabel, Blue Angel, ДСТУ ISO 14024).

Таблиця 15 Порівняльна таблиця характеристик ЛФМ:

Показник	Традиційний ЛФМ (на розчинниках)	Водорозчинний ЛФМ (екологічний)
Вміст ЛОС, г/л	350–500	10–50
Формальдегід, г/л	0,1–0,3	<0,01
Витрати на утилізацію залишків, грн/л	5–7	1–2
Пожежна небезпека	Висока	Низька
Вартість, грн/л	120–160	160–200

Розрахунок зниження викидів ЛОС

Вихідні дані:

Річний обсяг використання ЛФМ на майстерні: 200 л.

Традиційний ЛФМ: 400 г/л ЛОС.

Водорозчинний екологічний ЛФМ: 30 г/л ЛОС.

Розрахунок:

Вікіді ЛОС при використанні традиційних ЛФМ:

$$200 \text{ л} \times 400 \text{ г/л} = 80\,000 \text{ г} = 80 \text{ кг} \quad 200 \text{ л} \times 400 \text{ г / л} = 80\,000 \text{ г} = 80 \text{ кг}$$

Вікіді ЛОС при використанні екологічних ЛФМ:

$$200 \text{ л} \times 30 \text{ г/л} = 6\,000 \text{ г} = 6 \text{ кг} \quad 200 \text{ л} \times 30 \text{ г / л} = 6\,000 \text{ г} = 6 \text{ кг}$$

Зниження викидів ЛОС:

$$80 \text{ кг} - 6 \text{ кг} = 74 \text{ кг (на рік)} \quad 80 \text{ кг} - 6 \text{ кг} = 74 \text{ кг ( на рік )}$$

Висновок: Перехід на екологічно безпечні водорозчинні ЛФМ дозволяє зменшити річні викиди ЛОС у 13 разів (на 74 кг) 1 .

Економічний розрахунок

Вартість традиційного ЛФМ (200 л):  $200 \text{ л} \times 140 \text{ грн/л} = 28\,000 \text{ грн}$ .

Вартість екологічного ЛФМ (200 л):  $200 \text{ л} \times 180 \text{ грн/л} = 36\,000 \text{ грн}$ .

Додаткові витрати:  $36\,000 - 28\,000 = 8\,000 \text{ грн/рік}$ .

Однак: Зниження витрат на утилізацію небезпечних відходів, зменшення штрафів за перевищення ГДК, покращення умов праці та зниження загрозовості персоналу компенсують ці витрати.

Додаткові екологічні ефекти

Водорозчинні ЛФМ не потребують спеціальних вентиляційних систем з вибухозахистом.

Залишки таких матеріалів можна використовувати як побутові відходи.

Зменшується ризик пожежі та відривається.

Застосування звичайних лаків на розчинниках (напр., НЦ-лак) спричиняє викиди летких органічних сполук (ЛОС) до 200–300 г/м<sup>2</sup> поверхні. Це шкідливо для працівників та довкілля. Перехід на водорозчинні лакофарбові матеріали — викиди ЛОС зменшуються в 10–15 разів;

Застосування екосертифікованих матеріалів: EU Ecolabel, Blue Angel, EPD;

Таблиця 16

Створення закритої камери для лакування з вловлюванням парів лаку.

Матеріал	Викиди ЛОС, г/м <sup>2</sup>	Тип
Нітроцелюлозний лак (НЦ)	250	Розчинник
Водорозчинний акриловий	25	Водна основа
Уретан-акрилат UV-затвердіння	<5	Без розчинників

#### Висновок

Впровадження екологічно безпечних лакофарбових матеріалів у навчально-виробничі майстерні дозволяє знизити викиди ЛОС на десятки разів, покращити умови праці, знизити екологічні навантаження на довкілля та відповідати сучасним стандартам охорони навколишнього середовища.

#### Очікуваний екологічний ефект

Реалізація запропонованих заходів забезпечить: • зниження концентрацій пилу у виробничих приміщеннях до нормативних значень; • зменшення викидів дрібнодисперсного пилу в атмосферу; • підвищення надійності та стабільності роботи аспіраційних систем; • покращення умов праці персоналу.

#### Висновок

Модернізація систем аспірації та фільтрації повітря є ключовим напрямом зменшення атмосферного забруднення від деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу. Запропоновані заходи є технічно здійсненними, економічно доцільними та можуть бути реалізовані поетапно в умовах коледжу. Їх впровадження створює

передумови для стабільного дотримання екологічних нормативів і підвищення екологічної безпеки підприємства.

### **4.3. Впровадження заходів зменшення викидів ЛОС**

Враховуючи результати оцінки концентрацій летких органічних сполук (ЛОС) від деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу, зокрема періодичні перевищення нормативних значень на лакофарбовій дільниці, запропоновано комплекс технічних і технологічних заходів, спрямованих на зменшення утворення та викидів ЛОС у повітря робочої зони і атмосферу.

Запропоновані рішення орієнтовані як на **зниження джерела утворення ЛОС**, так і на **підвищення ефективності їх уловлювання та нейтралізації**.

#### **4.3.1. Оптимізація технологічних процесів нанесення ЛФМ**

Для зменшення утворення ЛОС пропонується:

- поступовий перехід на водорозчинні лакофарбові матеріали або ЛФМ із низьким вмістом розчинників;
- застосування матеріалів із класом емісії формальдегіду E0–E1;
- оптимізація витрат ЛФМ за рахунок точнішого дозування та регулювання факелу розпилення.

Очікуваний ефект: зменшення утворення ЛОС на 20–40 % без втрати якості покриття.

#### **4.3.3. Впровадження систем уловлювання та очищення ЛОС**

##### **Адсорбційні установки**

Для ділянок із помірними концентраціями ЛОС пропонується встановлення адсорбера з активованим вугіллям:

- ефективність уловлювання 70–95 %;
- можливість регенерації або заміни сорбенту;
- компактність та простота інтеграції у вентиляційні системи.

#### **4.3.4. Організаційні заходи з контролю ЛОС**

Для підвищення стабільності результатів передбачається: • обмеження відкритого зберігання ЛФМ; • застосування герметичних ємностей; • регулярний контроль концентрацій ЛОС у повітрі робочої зони; • ведення журналу витрат розчинників та лакофарбових матеріалів; • навчання персоналу щодо мінімізації випаровування ЛОС.

#### **Очікуваний екологічний ефект**

Реалізація комплексу заходів дозволить: • знизити концентрації ЛОС у робочих зонах до нормативних значень; • зменшити загальний обсяг викидів ЛОС в атмосферу на 30–60 %; • покращити умови праці та зменшити токсичне навантаження на персонал; • забезпечити відповідність вимогам українських і європейських стандартів.

Запропоновані заходи зі зменшення викидів ЛОС є комплексними та взаємодоповнювальними. Поєднання оптимізації технологічних процесів, модернізації сушильних і фарбувальних дільниць та впровадження систем очищення дозволяє досягти суттєвого екологічного ефекту без значного ускладнення виробничого процесу. Це створює передумови для сталого та екологічно безпечного розвитку підприємства.

#### **4.4. Організаційні та управлінські заходи з підвищення екологічної безпеки**

Поряд із технічними рішеннями важливу роль у зменшенні шумового та атмосферного забруднення відіграють організаційні та управлінські заходи. Вони забезпечують стабільність екологічних показників, ефективну експлуатацію очисного обладнання та формування екологічно відповідальної культури виробництва деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу.

Запропоновані заходи спрямовані на систематизацію екологічного управління, підвищення відповідальності персоналу та мінімізацію ризиків порушення екологічних нормативів.

#### **4.4.1. Впровадження системи екологічного менеджменту**

Рекомендується поетапне впровадження системи екологічного менеджменту відповідно до стандарту **ISO 14001**, що передбачає: • ідентифікацію екологічних аспектів діяльності підприємства; • визначення ключових показників екологічної ефективності; • планування та контроль екологічних заходів; • регулярний внутрішній аудит та аналіз результатів.

Це дозволить інтегрувати екологічні вимоги у загальну систему управління підприємством.

#### **4.4.2. Регламентація експлуатації шумозахисних та очисних систем**

Для підвищення ефективності роботи обладнання пропонується: • розробка та впровадження інструкцій з експлуатації систем аспірації, фільтрації та шумозахисту; • встановлення регламентів технічного обслуговування та ремонту; • призначення відповідальних осіб за екологічну безпеку кожної виробничої ділянки; • ведення журналів обліку технічного стану обладнання.

#### **4.4.3. Система виробничого екологічного контролю**

Рекомендується створення внутрішньої системи контролю, що включає: • регулярні вимірювання рівнів шуму та концентрацій забруднювачів; • моніторинг роботи аспіраційних систем і фільтрів; • аналіз причин відхилень від нормативних показників; • оперативне реагування на аварійні ситуації.

#### **4.4.4. Підвищення екологічної компетентності персоналу**

Для формування відповідального ставлення до екологічної безпеки необхідно:

- проведення регулярних навчань та інструктажів для працівників;
- ознайомлення персоналу з вимогами екологічного законодавства;
- навчання правильному використанню засобів індивідуального захисту;
- залучення працівників до участі в екологічних ініціативах підприємства.

#### **4.4.5. Планування та оцінка екологічних ризиків**

Запропоновано впровадження процедури управління екологічними ризиками, яка передбачає:

- ідентифікацію потенційних джерел аварійних викидів пилу та ЛОС;
- розробку планів дій у разі перевищення нормативів;
- періодичну оцінку ефективності впроваджених заходів;
- коригування екологічної політики підприємства.

#### **4.4.6. Інформаційна відкритість та взаємодія з контролюючими органами**

Для підвищення рівня довіри та прозорості рекомендується:

- своєчасне подання екологічної звітності;
- взаємодія з органами екологічного контролю;
- інформування місцевих громад про екологічні аспекти діяльності підприємства;
- оприлюднення результатів екологічного моніторингу (за можливості).

#### **Очікуваний результат впровадження організаційних заходів**

Реалізація запропонованих управлінських рішень дозволить:

- забезпечити стабільне дотримання екологічних нормативів;
- зменшити ризики аварійних ситуацій;
- підвищити ефективність використання технічних систем;
- сформувати культуру екологічної відповідальності серед персоналу;
- покращити імідж підприємства на регіональному рівні.

#### **Висновок до підпункту**

Організаційні та управлінські заходи є необхідним доповненням до технічних рішень зі зменшення шумового та атмосферного забруднення. Їх

впровадження створює основу для довгострокового забезпечення екологічної безпеки та сталого функціонування деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу.

#### **4.5. Оцінка екологічної та економічної ефективності запропонованих рішень [17-19]**

Оцінка екологічної та економічної ефективності запропонованих заходів є необхідною для обґрунтування доцільності їх впровадження в деревообробній майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу. Запропонований комплекс рішень включає технічні, технологічні та організаційно-управлінські заходи, які взаємодоповнюють один одного та забезпечують довгостроковий позитивний ефект.

##### **4.5.1. Екологічна ефективність**

Екологічна ефективність оцінювалась шляхом порівняння фактичних показників шумового та атмосферного забруднення до та після впровадження запропонованих заходів (розрахунковим та прогнозним методом).

##### **Очікувані екологічні результати**

У результаті впровадження комплексу заходів прогнозується:

- зниження рівня шуму у виробничих зонах на 10–25 дБА, залежно від типу обладнання та застосованих рішень;
- зменшення частки робочих місць із перевищенням допустимого рівня шуму з 60–70 % до 10–15 %;
- зниження концентрації деревного пилу у повітрі робочих зон на 40–70 %;
- зменшення концентрації дрібнодисперсного пилу PM<sub>2.5</sub> до нормативних значень;
- скорочення загального обсягу викидів ЛОС на 30–60 %;
- стабільне дотримання гранично допустимих концентрацій забруднювачів на межі санітарно-захисної зони.

Зниження шумового та атмосферного навантаження сприятиме покращенню умов праці, зменшенню ризиків професійних захворювань та загальному зниженню антропогенного впливу на довкілля.

#### **4.5.2. Соціально-екологічний ефект**

Окрім безпосередніх екологічних показників, реалізація заходів матиме такі позитивні наслідки:

- покращення стану здоров'я та працездатності персоналу;
- зменшення кількості скарг працівників на шум і запиленість;
- підвищення рівня виробничої безпеки;
- покращення іміджу підприємства як екологічно відповідального виробника;
- зменшення конфліктів із місцевими громадами та контролюючими органами.

#### **4.5.3. Економічна ефективність**

Економічна оцінка базується на порівнянні витрат на впровадження заходів та очікуваних фінансових вигод у середньо- та довгостроковій перспективі.

##### **Основні витрати**

- модернізація систем аспірації та фільтрації повітря;
- встановлення шумозахисних конструкцій;
- впровадження систем очищення ЛОС;
- навчання персоналу та організаційні заходи;
- встановлення систем моніторингу.

##### **Очікувані економічні вигоди**

- зниження витрат на електроенергію (завдяки частотному регулюванню вентиляторів) на 15–25 %;
- зменшення витрат на ремонт і обслуговування обладнання через зниження вібрацій;
- зниження витрат, пов'язаних із лікарняними та простоем персоналу;
- уникнення штрафів за перевищення екологічних нормативів;
- підвищення конкурентоспроможності продукції, зокрема на ринках ЄС.

За попередніми розрахунками, **термін окупності** інвестицій у запропоновані заходи становить **3–5 років**, що є прийнятним для екологічних проєктів у промисловості.

#### **4.5.4. Інтегральна оцінка ефективності**

Сукупний ефект від впровадження запропонованих рішень характеризується: • зменшенням екологічних ризиків; • підвищенням стабільності виробничих процесів; • відповідністю чинним та перспективним екологічним вимогам; • економічною доцільністю та довгостроковою вигодою.

#### **Висновок**

Оцінка екологічної та економічної ефективності показала, що запропонований комплекс заходів зі зменшення шумового та атмосферного забруднення деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу є обґрунтованим, доцільним та ефективним. Його впровадження дозволяє досягти суттєвого покращення екологічних показників підприємства, забезпечити безпечні умови праці та отримати економічні переваги у середньо- та довгостроковій перспективі.

## **Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **Організація охорони праці в майстерні**

Питання охорони праці та захисту довкілля перебувають під пильною увагою адміністрації закладу освіти та спеціалізованої служби охорони праці. Ця служба змінює ключову роль у зменшенні виробничого травматизму та профзахворювання шляхом проведення масової пропаганди, навчання працівників правилам безпеки на робочих місцях, розслідування нещасних випадків та інших заходів. Крім того, відділ охорони праці регулярно проводить інструктаж з техніки безпеки.

Для підвищення ефективності охорони праці важливо стимулювати працівників до забезпечення безпечних і здорових умов праці. Види та форми матеріального і морального стимулювання розробляються адміністрацією спільноти з профспілками та трудовим колективом.

Основні напрямки роботи відділу охорони праці включають: навчання працівників, забезпечення безпеки виробничого обладнання і процесів, безпеку будівель і споруд, нормалізацію санітарно-гігієнічних умов, забезпечення індивідуального захисту, організацію оптимальних режимів праці та відпочинку, лікувально-профілактичне та санітарно-побутове обслуговування, а також професійний відбір кадрів.

Підвищення продуктивності та якості продукції на деревообробних підприємствах можливо неможливо за умови створення здорових і безпечних умов праці та впровадження екологічно чистих технологій. Тому покращення умов праці залишається резервним завданням системи управління охороною праці та відповідної служби підприємства.

При аналізі технічних факторів умов праці починаються операції, що забезпечуються вручну, а також виявляються небезпечні та шкідливі зони технологічного процесу і обладнання. Так, у лісопильно-розкрійних цехах

висока інтенсивність ручної праці, що створює ризик травматизму, особливо при роботі з верстатами, які мають швидко обертові різальні інструменти, а також через можливість викиду заготовок і уламків. Високий рівень шуму (87–119 дБА) та вібрації спричинює професійні захворювання персоналу.

За статистикою, близько 50–60 % нещасних випадків у меблевому виробництві припадає на деревообробне обладнання, зокрема круглопиляльні та стрічково-пиляльні верстати є найбільш небезпечними.

Основні небезпечні фактори включають дію швидко обертового різального інструменту, викид заготовок, осколків та сучків, несправність захисних огорожень і падіння оброблюваних матеріалів.

Також значна частина операції виконується вручну через відсутність механізованих засобів, що знижує продуктивність і ризик травматизму.

#### Законодавча та нормативна база

Охорона праці організовується відповідно до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю, ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.1.005-88, СНиП II-4-79, ДБН В.2.5-28-2006 та галузевих стандартів Усі працівники та студенти проходять обов'язкове навчання, інструкції з охорони праці інспекцію знань не рідше одного разу на три роки.

#### Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час виготовлення шафи з ламінованої ДСП у майстерні площею 115 м<sup>2</sup> із застосуванням деревообробних верстатів можуть виникати такі небезпечні та шкідливі фактори:

- ✓ Рухомі частини обладнання (різальні інструменти, подаючі механізми)
- ✓ Підвищений рівень шуму й вібрації
- ✓ Виділення пилу та дрібнодисперсних частинок ДСП
- ✓ Можливість пошкодження електричним струмом
- ✓ Викиди формальдегіду та інших летких сполук із ДСП

✓ Ризик пожежі через наявність легкозаймистого пилю та матеріалів

Характеристика виробничого процесу:

Матеріал: ламінована ДСП

Обладнання: форматно-розкрійний верстат, крайколичковальний верстат, оброблювальний центр для свердління отворів.

Площа: 115 м<sup>2</sup>

Категорія робіт: середньої важкості (енерговитрати 150–200 ккал/год)

Таблиця 17. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

№	Фактор	Джерело	Нормативний рівень/ГДК	Клас безпеки	Вплив на здоров'я
1	Пил деревини, ДСП	Розкрій, обробка	ГДК – 2 мг/м <sup>3</sup> (ГОСТ 12.1.005-88)	2	Захворювання дихальних шляхів, алергія
2	Формальдегід	Ламінована ДСП	ГДК – 0,01 мг/м <sup>3</sup>	2	Токсичний, канцерогенний
3	Шум	Робота верстатів	≤ 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99)	–	Зниження слуху, стрес
4	Вібрація	Верстати	≤ 2 м/с <sup>2</sup> (ГОСТ 12.1.012-90)	–	Втома, захворювання опорно-рухового апарату
5	Електричний струм	Обладнання	≤ 220 В, II клас захисту	–	Електротравми
6	Пожежна небезпека	Піл, ДСП, клей	Категорія В-1 (ДСН 2.01.02-85)	–	Пожежа, вибух

## Загальна характеристика опоряджувальної дільниці

Опоряджувальна дільниця розташована в майстернях лісотехнічного університету і призначена для нанесення захисно-декоративних покриттів на дерев'яні вироби, зокрема двері. Площа дільниці становить 63 м<sup>2</sup>. Основне обладнання включає розпилюючу кабінку з сухим фільтром для нанесення лаку та шліфувально-пелюстковий верстат для підготовки поверхонь.

Виробом, що опрацьовується, є дерев'яні двері, які покриваються водорозчинним лаком. Сушіння покриття створено атмосферним способом.

## Технологічний процес опорядження дверей

Технологічний процес опорядження складається з таких основних етапів:

Підготовка поверхні дверей (шліфування).

Нанесення лаку за допомогою розпилюючої kabіни.

Атмосферне сушіння лакового покриття.

### Підготовка поверхні

Перед нанесенням лаку поверхню дверей обробляють на шліфувально-пелюстковому верстаті для досягнення необхідної гладкості та видалення пилу, що забезпечує краще зчеплення лаку з деревиною.

### Нанесення лаку

Використовується водорозчинний лак, який наноситься розпилювачем у kabіні з сухим фільтром, що забезпечує чистоту повітря та зменшує втрату лаку.

### Сушіння

Покриття висушується атмосферним способом при температурі навколишнього середовища, що є економічно вигідним, але вимагає контролю вологості та температури.

Розрахунок матеріальних витрат і продуктивності ділянки

Таблиця 18

### Вихідні дані

Показник	Значення
Площа опоряджувальної ділянки	63 м <sup>2</sup>

Показник	Значення
Виріб	Двері
Площа поверхні дверей (однієї)	2 м <sup>2</sup> (припускаємо)
Витрата лаку на 1 м <sup>2</sup>	120 г (водорозчинний лак)
Час нанесення лаку на 1 двері	15 хв
Час шліфування 1 двері	10 хв
Час сушіння (атмосферне)	6 годин
Кількість робочих годин на добу	8 годин

Кількість дверей, що опоряджуються за зміну

Обчислимо максимальну кількість дверей, які можна опрацювати за 8-річну зміну.

Час на обробку одних дверей (шліфування + лакування):

$$T_{од.} = 10 + 15 = 25 \text{ хв.}$$

Кількість дверей, які можна полакувати за зміну (без урахування сушіння):

$$P_{н.} = 8 \times 60 / 25 = 19 \text{ шт.}$$

Якщо сушіння в атмосфері триває 6 годин, то сушіння не забезпечує продуктивність, якщо організувати паралельне сушіння (наприклад, двері сушать у спеціальній кімнаті).

### 3.3.3 Витрата лаку за зміну

Площа лакування одних дверей:

$$S = 2 \text{ м}^2$$

Витрата лаку на одні двері:

$$M = 2 \times 120 = 240 \text{ г} = 0,24 \text{ кг}$$

Витрата лаку за зміну:

$$M_{\text{зміни}} = 0,24 \times 19 = 4,56 \text{ кг}$$

### Аналіз обладнання опоряджувальної ділянки

#### Розпилююча кабіна з сухим фільтром

Основним обладнанням для нанесення лаку є розпилююча кабіна, оснащена сухим фільтром, що забезпечує:

Вловлення лакового туману та пилу.

Підтримання чистоти повітря.

Зниження втрат лаку.

Таблиця 19. Технічні характеристики розпилювальної кабіни

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>
Продуктивність	20 дверей/зміну
Витрати повітря	1500 м <sup>3</sup> /год
Ефективність фільтрації	95%

#### Шліфувально-пелюстковий верстат

Використовується для підготовки поверхні дверей перед лакуванням.

Забезпечує рівномірне шліфування та видалення пилу.

Таблиця 20 Технічні характеристики шліфування

Параметр	Значення
Ширина шліфування	300 мм
Швидкість обертання	1500 об/хв
Продуктивність	20 дверей/зміни

### Організація робочого процесу

Для забезпечення безперервності технологічного процесу необхідно організувати роботу за схемою:

Підготовка дверей (шліфування) – 10 хв.

Нанесення лаку – 15 хв.

Передача дверей у сушильну камеру (атмосферне сушіння) – 6 год.

Для оптимізації сушіння можна використовувати з приміщення контрольованою температурою та вентиляцією.

Отже, опоряджувальна ділянка площею 63 м<sup>2</sup> оснащена сучасним обладнанням, що забезпечує якісне нанесення водорозчинного лаку на двері.

Розрахункова продуктивність ділянки становить близько 19 дверей за зміну.

Витрата лаку за зміну становить приблизно 4,56 кг.

Використання сухого фільтра і водорозчинного лаку знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

Атмосферне сушіння є економічним, проте вимагає контролю умов сушіння для забезпечення якості покриття.

Розрахунок вентиляції і системи очищення повітря в цьому опорядженні при використанні 6 кг водорозчинного лаку за зміну.

#### 1. Вихідні дані

Витрата лаку для зміни: 6 кг (водорозчинний лак)

Тривалість змін: 8 годин

Приміщення: цех опорядження дверей

Продуктивність: нанесення лаку розпилювачем у кабіні з сухим фільтром

Можливість очищення повітря перед викидом в атмосферу

## 2. Розрахунок необхідної кратності вентиляції

Для забезпечення безпеки праці та зниження концентрації летких речовин (ЛОС) у повітрі цеху необхідно організувати ефективну вентиляцію.

Визначення маси ЛОС, що випаровуються

Водорозчинні лаки утворюють леткі органічні сполуки (ЛОС), які при нанесенні випаровуються і виробляються у повітрі. Припустимо, що 80% лаку випаровується у вигляді ЛОС.

Маса ЛОС за зміну:

$$M_{\text{ЛОС}} = 6 \text{ кг} \times 0,8 = 4,8 \text{ кг}$$

### 2.2 Середня маса ЛОС

$$M_{\text{ЛОС,год.}} = 4,8 : 8 = 0,6 \text{ кг// год.}$$

### 2.3 Визначення максимально допустимої концентрації ЛОС у повітрі

За нормативами безпеки праці гранично допустима концентрація (ГДК) ЛОС у робочій зоні зазвичай становить близько 100 мг/м<sup>3</sup> (0,1 г/м<sup>3</sup>).

### 2.4 Розрахунок об'єму повітря, необхідного для розрідження ЛОС до безпечного рівня

Об'єм повітря  $V$  (м<sup>3</sup>/год), необхідний для розрідження ЛОС до ГДК, наявний за формулою:

$$V = M_{\text{ЛОС,год.}} : \text{ГДК}$$

Де:

$$M_{\text{ЛОС,год.}} = 0,6 \text{ кг/год} = 600 \text{ г/год}$$

$$\text{ГДК} = 0,1 \text{ г/м}^3.$$

Отже,

$$V=600 : 0,1=6000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

### Вибір системи очищення повітря

Для очищення повітря від ЛОС перед віком в атмосфері застосування застосовують такі системи:

Сушафільтрація (наприклад, фільтри з активованим вугіллям) — ефективна для поглинання ЛОС, що складається в лаку.

Біофільтрація — екологічно безпечний метод, але потребує значної площі.

Термічний окислювач — спалювання ЛОС при високих температурах, ефективний, але енергоємний.

Адсорбційні установки на основі активованого вугілля — найбільш поширені для лакофарбових цехів.

Для цього з витратою повітря 6000 м<sup>3</sup>/год оптимальним буде використання системи з активованим вугіллям, що забезпечує ефективність очищення до 95-99%.

1. Таким чином, для безпечної роботи дільниці опорядження рекомендуємо:
2. Організувати припливно-витяжну вентиляцію з продуктивністю не менше 6000 м<sup>3</sup>/год.
3. Встановити систему адсорбції на активованому вугіллі для очищення повітря перед віком.
4. Регулярно контролювати концентрацію ЛОС у повітрі робочої зони.
5. Провести технічне обслуговування фільтрів для підтримки їх ефективності.

Для забезпечення безпеки праці та екологічної безпеки в цьому опорядженні витрати 6 кг водорозчинного лаку за зміну необхідна вентиляція

з продуктивністю близько 6000 м<sup>3</sup>/год і система очищення повітря з адсорбційними фільтрами на активованому вугіллі, що дозволяє зберегти концентрацію ЛОС до безпечних рівнів перед викидом в атмосферу

### Санітарно-гігієнічні умови

Таблиця 21 Вимоги до мікроклімату

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Теплий	18–28	40–60	≤ 0,3
Холодний	16–24	40–60	≤ 0,2

Вимоги: ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.1.005-88

Розрахунок повітрообміну:

Для деревообробних майстерень вентиляція має бути з 3–5-кратним обміном повітря на годину.

$$P=n \times V$$

де:

P– продуктивність системи механічної вентиляції, м<sup>3</sup>/год,

n– кратність повітрообміну,

V– об'єм приміщення.

При висоті 3 м:

$$V=115 \times 3=345 \text{ м}^3$$

Рекомендований повітрообмін:

$$P=3 \times 345=1035=1035 \text{ м}^3/\text{год}$$

Таблиця 21 . Освітлення

Тип освітлення	Норма, лк (СНиП II-4-79)
Природне	КЕО $\geq 1,5\%$
Штучне (загальне)	300–500 лк
Локальне	500–750 лк

### Організаційно-технічні заходи безпеки

Всі верстати повинні мати захисні кожухи, блокування та аварійні вимикачі.

Робочі місця обладнуються місцевою витяжною вентиляцією для видалення пилу та шкідливих речовин.

Рівень шуму не повинен перевищувати гранично допустимих норм; для потреби використовують засоби індивідуального захисту слуху.

Усі електроустановки повинні бути заземлені, а персонал - пройти інструкцію з електробезпеки з присвоєнням I групи допуску.

Приміщення забезпечується достатнім природним та штучним освітлою відповідно до норм.

### Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

При роботі з верстатами обов'язково використовують захисні окуляри, респіратори (для захисту від пилу та формальдегіду), навушники або беруші, спецодяг і спецвзуття.

ЗІЗ повинен відповідати розміру, бути справними та зберігатися у відведених місцях.

## Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Вид роботи	ЗІЗ
Розкрій, обробка ДСП	Респіратор, захисні окуляри, спецодяг
Крайколичкування	Навушники, рукавички
Свердління	Респіратор, окуляри

## Пожежна та електробезпека

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопати).

Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів у безпосередній близькості до верстатів.

Працівники повинні знати правила використання засобів пожежогасіння та розташування евакуаційних виходів.

Дотримання вимог охорони праці, впровадження організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, протипожежних заходів та використання засобів індивідуального захисту є обов'язковими умовами безпечної роботи у майстернях лісотехнічного університету при виготовленні меблів із ламінованої ДСП.

Категорія приміщення: В-1 (легкозаймісті тверді речовини)

Засоби пожежогасіння: порошкові вогнегасники (не менше 2 шт. на 100 м<sup>2</sup>), ящик з піском, пожежний щит.

Вимоги до евакуації: ширина проходів  $\geq 1$  м, двері відкриваються назовні, позначені евакуаційні виходи.

Система вентиляції: іскрозахист, регулярне очищення від пилу

Клас приміщення: підвищеної безпеки (наявність пилу, металевих конструкцій, можливість уражень струмом).

Обладнання повинне мати захисне заземлення, автоматичні вимикачі, II клас захисту.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження методів зменшення шумового та атмосферного забруднення від деревообробного цеху на прикладі деревообробної майстерні Кременецького лісотехнічного фахового коледжу. Отримані результати дозволяють сформулювати такі узагальнені висновки:

1. Деревообробна промисловість характеризується підвищеним рівнем шумового та атмосферного навантаження, що зумовлено інтенсивними процесами механічної обробки деревини, роботою аспіраційних систем, сушильних комплексів і лакофарбових дільниць. Основними джерелами забруднення є деревний пил, леткі органічні сполуки та аеродинамічний і механічний шум.

2. Аналіз нормативно-правових вимог України та міжнародних стандартів показав, що хоча чинна нормативна база встановлює допустимі межі шуму та викидів, їх дотримання у виробничих зонах деревообробних підприємств часто ускладнюється через застаріле обладнання, недостатню ефективність очисних систем та організаційні недоліки.

3. Результати діагностики шумового навантаження на деревообробній майстерні кременецького лісотехнічного фахового коледжу засвідчили наявність перевищень допустимих рівнів шуму на дільницях первинного та вторинного розпилювання, шліфування та в зоні роботи аспіраційних установок. Це створює підвищені ризики для здоров'я працівників та вимагає впровадження додаткових шумозахисних заходів.

4. Оцінка концентрацій атмосферних забруднювачів показала, що у виробничих приміщеннях майстерні періодично фіксуються перевищення гранично допустимих концентрацій деревного пилу та летких органічних сполук, особливо на лакофарбовій дільниці. Водночас на межі санітарно-

захисної зони підприємства концентрації забруднювачів загалом відповідають нормативним вимогам, що свідчить про локальний характер проблеми.

5. Визначено основні слабкі місця у системах шумозахисту та очищення повітря, зокрема відсутність локалізації шуму на джерелі, недостатнє демпфування вібрацій, нерівномірність роботи аспіраційної мережі, зношення фільтрувальних елементів та обмежену ефективність очищення викидів ЛОС.

6. Запропоновано комплекс технічних рішень зі зменшення шумового навантаження, що включає встановлення акустичних кожухів, антивібраційних опор, шумозахисних екранів, модернізацію вентиляційного обладнання та оптимізацію технологічних режимів роботи. Реалізація цих заходів дозволяє знизити рівень шуму у виробничих зонах до нормативних значень.

7. Розроблено заходи з модернізації систем аспірації та фільтрації повітря, а також зменшення викидів летких органічних сполук шляхом оптимізації технологічних процесів, застосування сучасних очисних установок та переходу на менш токсичні матеріали. Очікуване зниження концентрацій пилу та ЛОС становить 40–70 %.

8. Обґрунтовано доцільність впровадження організаційних та управлінських заходів, зокрема системи екологічного менеджменту, регламентів експлуатації обладнання, внутрішнього екологічного контролю та підвищення екологічної компетентності персоналу.

9. Оцінка екологічної та економічної ефективності показала, що впровадження запропонованих заходів забезпечує суттєве зниження антропогенного впливу на довкілля, покращення умов праці та економічну доцільність інвестицій з орієнтовним терміном окупності 3–5 років.

10. Загалом результати роботи підтверджують, що комплексний підхід до зменшення шумового та атмосферного забруднення, який поєднує технічні, технологічні та організаційні рішення, є найбільш ефективним для підвищення екологічної безпеки деревообробних підприємств та забезпечення їх сталого розвитку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря».
3. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення».
4. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
5. ДСН 173-96. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в населених пунктах.
6. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць.
7. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин».
8. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування.
9. ДСТУ ISO 1996-1:2003. Акустика. Опис, вимірювання та оцінювання шуму довкілля.
10. ДСТУ 8725:2017. Повітря. Визначення масової концентрації зважених частинок.
11. Методичні рекомендації з контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від промислових підприємств. — Київ, Міндовкілля України.
12. Бойко О. М., Кравченко В. С. Очищення промислових викидів у деревообробній галузі. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2019.

13. Гончаренко Л. В. Екологічна безпека виробничих процесів деревообробної промисловості. — Київ: КНУБА, 2020.
14. Шевченко І. А. Захист повітряного середовища від промислових забруднень. — Харків: ХНУМГ, 2018.
15. Мельник Л. Г. Основи екології та охорони навколишнього середовища. — Суми: Університетська книга, 2021.
16. Кузьмін О. Є., Лещенко Т. М. Управління екологічними ризиками на підприємствах. — Київ: Центр учбової літератури, 2019.
17. Пилипенко В. В. Вентиляція та аспірація деревообробних підприємств. — Харків: Основа, 2017.
18. Долішній М. І. Промислова екологія. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2018.
19. Методичні вказівки з оцінки впливу на довкілля промислових об'єктів. — Київ: Міндовкілля України, 2020.
20. Державна служба статистики України. Охорона навколишнього природного середовища в Україні. Статистичний збірник.
21. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. — WHO, 2018.
22. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines. — Geneva, 2021.
23. Directive 2002/49/EC of the European Parliament relating to the assessment and management of environmental noise.
24. Directive 2010/75/EU on industrial emissions (Integrated Pollution Prevention and Control).
25. BAT Reference Document for the Wood-based Panels Industry. — European Commission, 2020.

26. Cheremisinoff N. P. Handbook of Air Pollution Control Technologies. — Butterworth-Heinemann, 2016.
27. Cooper C. D., Alley F. C. Air Pollution Control: A Design Approach. — Waveland Press, 2019.
28. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. — McGraw-Hill, 2018.
29. Peavy H. S., Row L. Wastewater Treatment and Control. — McGraw-Hill, 2017.
30. European Environment Agency. Air Pollution Sources and Impacts. — EEA Report, 2022.
31. ISO 9612:2009. Acoustics — Determination of occupational noise exposure.
32. UNEP. Cleaner Production and Industrial Pollution Prevention. — United Nations, 2020.