

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:

**«Ідентифікація джерел викидів промислового  
підприємства в атмосферне повітря»**  
*(Identification of emission sources of an industrial  
enterprise into the atmospheric air)*

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

Юринець Олег Юрійович  
(прізвище та ініціали)

Керівник   Сторожук В.М.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент   Ференц О.Б.  
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

# НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут  
Кафедра

деревообробних технологій і дизайну  
технологій захисту навколишнього  
середовища і деревини та безпеки  
життєдіяльності

Освітній рівень  
Спеціальність

магістр  
183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“30” вересня 2025 року

## **ЗАВДАННЯ** НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

**Юринець Олег Юрійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Ідентифікація джерел викидів промислового підприємства в атмосферне повітря»

*(Identification of emission sources of an industrial enterprise into the atmospheric air)*

Керівник роботи: Сторожук Віктор Миколайович, доцент, к.т.н.

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

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

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Виконати огляд літературних джерел з проблематики, теоретичні і експериментальні дослідження джерел викидів промислового підприємства в атмосферне повітря.

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



1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.
2. Дослідження джерел викидів промислового підприємства в атмосферне повітря досліджуваного виробництва на навколишнє середовище, теоретичні

та експериментальні дослідження заходів та засобів захисту навколишнього середовища від забруднень.

3. Охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу матеріалу (слайди презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання, видав	Завдання прийняв
Охорона праці	доц. Соколовський І.А.		

7. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

  
(підпис)

Юринець О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Сторожук В.М.

(прізвище та ініціали)

# **ЗМІСТ**

## **Вступ**

### **Розділ 1. Теоретичні основи викидів промислових підприємств в атмосферне повітря**

- 1.1. Класифікація джерел викидів та їх характеристики
- 1.2. Основні види забруднювальних речовин та їх екологічні властивості
- 1.3. Механізми поширення промислових викидів у атмосфері
- 1.4. Вплив промислових викидів на довкілля та здоров'я населення
- 1.5. Нормативно-правове регулювання викидів в Україні та ЄС

### **Розділ 2. Методи ідентифікації та оцінки джерел викидів**

- 2.1. Підходи до інвентаризації викидів на промислових підприємствах
- 2.2. Інструментальні методи вимірювання концентрацій забруднювачів
- 2.3. Розрахункові методи визначення кількості викидів
- 2.4. Використання математичного моделювання для аналізу розсіювання
- 2.5. Оцінка нерегульованих та прихованих джерел викидів

### **Розділ 3. Ідентифікація джерел викидів на прикладі деревообробного підприємства**

- 3.1. Загальна характеристика підприємства
- 3.2. Основні технологічні процеси та їх потенційні джерела викидів
- 3.3. Інвентаризація організованих і неорганізованих джерел викидів
- 3.4. Результати вимірювань та розрахунків фактичних викидів
- 3.5. Аналіз екологічних ризиків та відповідності нормативам

### **Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо зниження викидів та підвищення екологічної безпеки**

- 4.1. Технологічні заходи щодо мінімізації викидів

- 4.2. Системи очищення газових потоків і їх ефективність
- 4.3. Організаційні та управлінські заходи з екологічного контролю
- 4.4. Перспективи впровадження найкращих доступних технологій (НДТМ/Best Available Techniques)
- 4.5. Оцінка екологічного та соціального ефекту запропонованих заходів

## **Розділ 5. Охорона праці**

### **Загальні висновки**

### **Список використаних джерел**

## АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто теоретичні засади формування викидів промислових підприємств в атмосферне повітря, охарактеризовано основні типи джерел забруднення та їх вплив на довкілля і здоров'я населення. Проаналізовано методи ідентифікації, вимірювання та оцінки викидів, включаючи інструментальні, розрахункові та модельні підходи. На прикладі діяльності підприємства проведено інвентаризацію організованих і неорганізованих джерел, визначено їх внесок у загальне забруднення, оцінено екологічні ризики та рівень відповідності чинним нормативам. Розроблено рекомендації щодо зниження обсягів викидів за рахунок впровадження технологічних, організаційних та управлінських заходів, а також окреслено перспективи застосування найкращих доступних технологій. Результати роботи можуть бути використані у практиці промислових підприємств, органів екологічного контролю та у подальших наукових дослідженнях у сфері охорони атмосферного повітря.

**Ключові слова:** викиди в атмосферне повітря, промислові підприємства, джерела забруднення, екологічні ризики, зменшення викидів, технології захисту навколишнього середовища

## ABSTRACT

The master's thesis examines the theoretical principles of industrial air emissions, describing the main types of emission sources and their environmental and health impacts. Various identification and assessment methods are analysed, including instrumental measurements, calculation techniques, and atmospheric dispersion modelling. An inventory of organized and unorganized emission sources was conducted, their contribution to total pollution was evaluated, and environmental risks and compliance with existing regulations were assessed. Recommendations were developed to reduce emissions through technological improvements, organizational measures, and environmental management practices, along with an outlook on implementing Best Available Techniques (BAT). The results of the study can be applied in the practice of industrial enterprises, environmental control authorities, and further scientific research in the field of air protection.

**Keywords:** emissions into the atmosphere, industrial enterprises, pollution sources, environmental risks, emission reduction, environmental protection technologies

## ВСТУП

Сучасні промислові підприємства є важливою частиною економіки, проте їх діяльність супроводжується утворенням значної кількості шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря. Накопичення промислових викидів призводить до погіршення якості повітря, змін кліматичних умов, зростання рівня захворюваності населення та деградації екосистем. Однією з ключових проблем екологічної безпеки є своєчасна ідентифікація джерел забруднення, які формують основне антропогенне навантаження на атмосферу. Без точної ідентифікації неможливо ефективно планувати природоохоронні заходи, розраховувати викиди, впроваджувати сучасні технології очищення та контролювати дотримання нормативів.

У цій магістерській роботі увага зосереджена на визначенні джерел викидів промислового підприємства, аналізі їх характеристик і впливу на довкілля, а також на формуванні рекомендацій щодо зниження негативного впливу на атмосферне повітря. Дослідження ґрунтується як на теоретичних засадах охорони атмосферного повітря, так і на практичному аналізі діяльності реального підприємства .

**Актуальність теми.** Проблема забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем в Україні та світі. За даними ВООЗ, понад 90% населення дихає повітрям, що не відповідає рекомендованим стандартам. В Україні промислові джерела становлять значну частку в структурі загального забруднення, зокрема викиди пилу, оксидів азоту, діоксиду сірки, летких органічних сполук, продуктів горіння та інших небезпечних компонентів.

Актуальність теми зумовлена такими чинниками:- • зростаючі вимоги до екологічного контролю та звітності підприємств;- • необхідність коректної інвентаризації джерел викидів для виконання законодавства;- • вплив

промислових забруднень на здоров'я людей, особливо у сільських і малих населених пунктах;- • адаптація української промисловості до європейських стандартів охорони атмосферного повітря;- • підвищення ролі екологічного менеджменту в умовах модернізації виробництв.

Тому дослідження джерел викидів та методів їх ідентифікації має як наукове, так і практичне значення.

**Мета роботи** - дослідити джерела викидів промислового підприємства, визначити їх характеристики і вплив на довкілля, а також розробити рекомендації щодо зниження забруднення атмосферного повітря.

Для досягнення мети визначено такі **завдання**:

1. Проаналізувати теоретичні засади утворення та поширення промислових викидів.
2. Розглянути класифікацію джерел викидів і типові забруднювачі.
3. Дослідити сучасні методи ідентифікації, вимірювання та оцінки джерел викидів.
4. Провести ідентифікацію джерел викидів на прикладі деревообробного підприємства.
5. Оцінити відповідність фактичних викидів чинним нормативам.
6. Визначити екологічні ризики, пов'язані з діяльністю підприємства.
7. Розробити заходи для зменшення викидів і підвищення екологічної безпеки.

**Об'єкт і предмет дослідження**

**Об'єкт дослідження** - процеси утворення та поширення викидів в атмосферне повітря промисловими підприємствами.

**Предмет дослідження** - джерела викидів, їх характеристики, обсяги, структура, а також методи їх ідентифікації та оцінки.

## **Методи дослідження**

Під час виконання роботи застосовувалися такі методи:

- **аналітичний метод** - для опрацювання наукової літератури та нормативних документів;-
- **інструментальні методи вимірювання** - для визначення концентрацій та характеристик забруднювачів;-
- **розрахункові методи** - для оцінки обсягів викидів та їхнього внеску в загальне забруднення;-
- **моделювання розсіювання** - для прогнозування поширення забруднювачів у приземному шарі атмосфери;-
- **метод порівняльного аналізу** - для оцінки відповідності екологічним нормам;-
- **екологічний ризик-аналіз** - для визначення потенційного впливу на довкілля та здоров'я людей.

## **Наукова новизна**

Наукова новизна роботи полягає у:

- системному аналізі джерел викидів з урахуванням специфіки деревообробного підприємства;-
- застосуванні комбінованого підходу до ідентифікації викидів, який включає інструментальні вимірювання, розрахункові методи й атмосферне моделювання;-
- обґрунтуванні можливості використання сучасних інструментів оцінки ризиків для визначення екологічної загрози від діяльності підприємства;-
- формуванні рекомендацій щодо підвищення екологічної безпеки на основі принципів найкращих доступних технологій (НДТМ).

## **Практичне значення роботи**

Отримані результати мають практичну цінність і можуть бути використані для:

- проведення інвентаризації викидів на промислових підприємствах;-
- вдосконалення систем екологічного моніторингу;-
- підготовки екологічної звітності відповідно до законодавчих вимог;-
- розробки технологічних і

управлінських заходів зі зменшення обсягів викидів;- • оцінки екологічних ризиків та обґрунтування заходів щодо їх мінімізації;- • адаптації підприємств до стандартів ЄС у сфері охорони атмосферного повітря.

## **Розділ 1. Теоретичні основи викидів промислових підприємств в атмосферне повітря**

### **1.1. Класифікація джерел викидів та їх характеристики [12-15]**

Промислові підприємства формують широкий спектр викидів в атмосферне повітря, які залежно від технологічних процесів, виду обладнання та умов експлуатації можуть суттєво відрізнятися за фізичним станом, складом, обсягами та характером поширення. Для коректної інвентаризації та подальшого контролю важливо класифікувати джерела викидів відповідно до їх організації, походження, структури та фізико-хімічних властивостей.

Загалом джерела викидів поділяють на **організовані, неорганізовані, стаціонарні, пересувні**, а також за **типом технологічного процесу**, що спричиняє емісію забруднювачів.

#### **Основні класифікаційні групи джерел викидів**

##### **1. Організовані джерела**

Це джерела, викиди з яких надходять в атмосферу через спеціально облаштовані газоходи, труби, вентиляційні системи або технологічні апарати.

##### **Характеристики:**

- мають визначені параметри (швидкість, температура, концентрація);
- легко піддаються вимірюванню та контролю;
- зазвичай підлягають обов'язковим природоохоронним заходам (фільтри, циклонні системи, скрубери).

Приклади: димові труби, вентиляційні системи сушильних камер, циклони аспірації.

##### **2. Неорганізовані джерела**

Формуються внаслідок неконтрольованого виходу забруднювачів у повітря.

### **Характеристики:**

- мають нерівномірний характер;
- складно вимірювати;
- часто є наслідком несправностей, витоків, нещільностей, розвантаження матеріалів.

Приклади: відкриті зони різання деревини, розсипання пилу, технологічні лінії без укриття.

### **3. Стаціонарні джерела**

Джерела, що постійно розташовані на одному місці.

Приклади: котельні, фільтрувальні установки, сушильні комплекси.

### **4. Пересувні джерела**

Джерела, що переміщуються під час роботи.

Приклади: автотранспорт, навантажувачі, дизельні генератори.

### **5. Класифікація за характером забруднювачів**

- пилові викиди;
- газоподібні речовини (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>);
- леткі органічні сполуки (ЛОС);
- продукти спалювання палива;
- запахові речовини.

**Таблиця 1. Класифікація джерел викидів та їх основні характеристики**

<b>Тип джерела</b>	<b>Приклади</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Проблемність для екологічного контролю</b>
<b>Організовані</b>	димові труби, вентиляційні канали, циклонні установки	сталий потік, чіткі параметри, легкий контроль	низька/середня
<b>Неорганізовані</b>	відкриті виробничі зони, розсипання пилу, витоки	нерівномірні, спонтанні, важко вимірювати	висока
<b>Стаціонарні</b>	котельні, сушильні камери, газоочисні системи	фіксоване місце, стабільний режим	середня
<b>Пересувні</b>	автонавантажувачі, вантажні автомобілі, спецтехніка	змінні маршрути, різні режими роботи	висока
<b>За типом забруднювачів</b>	пил, ЛОС, газоподібні компоненти	залежить від складу та концентрації	від низької до високої

Таким чином, класифікація джерел промислових викидів є основою для екологічного контролю, дозволяє визначити характер забруднення, вибрати оптимальні методи вимірювання та сформулювати ефективні природоохоронні заходи. Організовані джерела зазвичай легше контролювати, тоді як неорганізовані вимагають комплексного підходу та технологічного удосконалення виробництва.

## Розширена схема джерел викидів деревообробного цеху

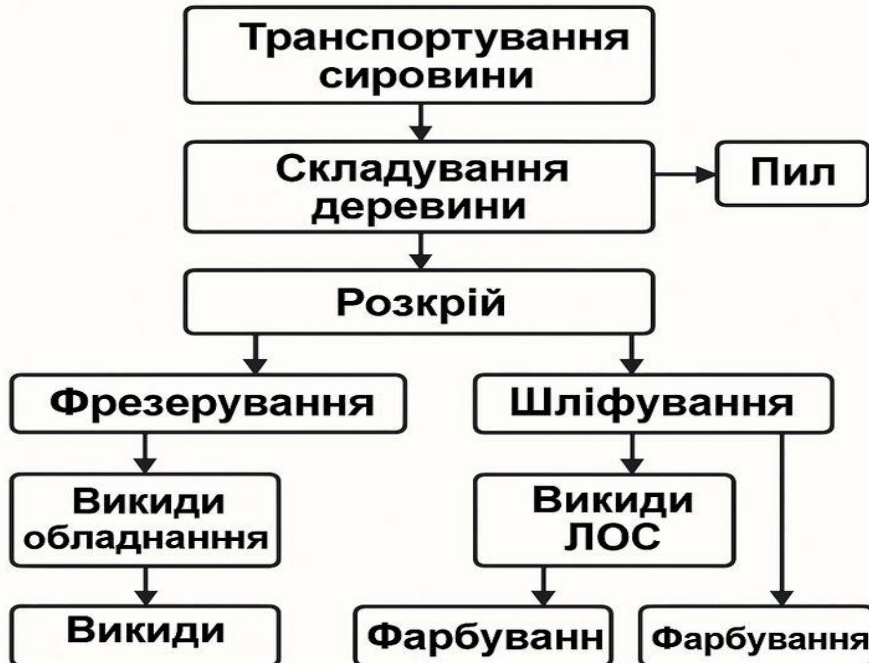


Рис. 4. Розширена схема джерел викидів деревообробного цеху

### 1.2. Основні види забруднювальних речовин та їх екологічні властивості [11-14]

Промислові підприємства викидають широкий спектр забруднювальних речовин, що відрізняються за фізичним станом, хімічним складом, токсичністю, тривалістю існування в атмосфері та здатністю впливати на екосистеми й здоров'я населення. Для коректної оцінки впливу важливо розглянути основні групи забруднювачів, що найчастіше зустрічаються у промисловості, зокрема в деревообробній та суміжних галузях.

Ці речовини можуть належати до пилових, газоподібних, органічних або складних сумішей. Їх вплив визначається концентрацією, тривалістю дії та здатністю до хімічних перетворень у повітрі.

## **Основні групи забруднювальних речовин**

### **1. Пилові частинки (зважені речовини)**

Утворюються під час механічної обробки деревини, спалювання палива, транспортування сировини. Характерні розміри частинок - 2,5–100 мкм.- • можуть переноситись на значні відстані;- • здатні накопичуватись у дихальних шляхах;- • впливають на рослинність, закриваючи продихи та пригнічуючи фотосинтез.

### **2. Оксид вуглецю (CO)**

Продукт неповного згоряння органічних матеріалів та палива.- • блокує транспортування кисню у крові;- • особливо небезпечний у високих концентраціях у закритих зонах.

### **3. Оксиди азоту (NO та NO<sub>2</sub>)**

Утворюються в процесах нагрівання, сушіння, роботи двигунів і котлів.- • сприяють утворенню озону на рівні ґрунту;- • можуть викликати кислотні дощі;- • подразнюють дихальні шляхи.

### **4. Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)**

Продукт згоряння сірковмісних видів палива.- • токсичний при вдиханні;- • ушкоджує рослинність;- • одна з причин кислотних опадів.

### **5. Леткі органічні сполуки (ЛОС)**

Утворюються при сушінні деревини, роботі із смолами, лаками, клеями.: • можуть мати канцерогенні властивості; • беруть участь у формуванні фотохімічного смогового забруднення; • здатні довго зберігатись у атмосфері.

### **6. Формальдегід**

Поширений у деревообробці як компонент смол та клеїв.

- сильний подразник;
- класифікований як канцероген;
- навіть низькі концентрації шкідливі при тривалому впливі.

## **7. Продукти спалювання палива**

Суміш газів та дрібнодисперсного пилу.

- містять PAHs (поліциклічні ароматичні вуглеводні), CO, NO<sub>x</sub>;
- підвищують ризик захворювань дихальної системи.

**Таблиця 2. Основні забруднювальні речовини промислових викидів та їх екологічні властивості**

<b>Забруднювач</b>	<b>Джерело утворення</b>	<b>Основні властивості</b>	<b>Екологічний та санітарний вплив</b>
<b>Пил (TSP, PM10, PM2.5)</b>	різання, шліфування, транспортування деревини; спалювання палива	дрібнодисперсний, легко переноситься повітрям	підразнення дихальних шляхів, шкода рослинності
<b>CO</b>	неповне згорання палива, робота двигунів	безбарвний, токсичний газ	блокує гемоглобін, викликає гіпоксію
<b>NO<sub>x</sub></b>	сушильні комплекси, котли, двигуни	реакційноздатні гази	утворення озону та кислотних дощів, підразнення дихальних шляхів
<b>SO<sub>2</sub></b>	згорання сірковмісного палива	розчинний у воді, токсичний	шкодить рослинам, причина кислотних опадів
<b>Леткі органічні сполуки (ЛОС)</b>	клеї, лаки, смоли, сушіння деревини	висока леткість, можливі канцерогенні властивості	формування фотохімічного смогу, токсичність
<b>Формальдегід</b>	смоли, просочення, плити МДФ/ДСП	канцероген, подразник	ризик онкозахворювань, вплив на слизові оболонки
<b>Продукти згорання (суміш)</b>	котельні, сушильні камери	містять PAHs, CO, NO <sub>x</sub>	комплексна токсична дія

Основні забруднювачі атмосферного повітря промислових підприємств належать до різних хімічних груп і мають різний характер впливу на середовище. Найбільш небезпечними є дрібнодисперсний пил, оксиди азоту, леткі органічні сполуки та формальдегід. Їх ідентифікація та контроль є ключовими для подальшого аналізу джерел забруднення та планування природоохоронних заходів.

### **1.3. Механізми поширення промислових викидів у атмосфері [10-11]**

Після потрапляння в атмосферне повітря забруднювальні речовини зазнають складних процесів розсіювання, перенесення та трансформації. Механізми поширення визначають, на які відстані перемістяться викиди, у яких концентраціях вони будуть присутні, та які екологічні наслідки матимуть. Ці процеси залежать від фізичних характеристик атмосфери, висоти джерела викиду, швидкості газових потоків, рельєфу місцевості та властивостей самих забруднювачів.

Розуміння механізмів поширення є необхідним для прогнозування впливу викидів, визначення санітарно-захисних зон, моделювання розсіювання та оцінки екологічної безпеки промислових підприємств.

#### **Основні механізми поширення викидів у атмосфері**

##### **1. Турбулентне перемішування**

Найважливіший процес, що визначає горизонтальне і вертикальне розсіювання забруднювачів.- • відбувається під дією турбулентних потоків повітря;- • забезпечує розбавлення забруднювачів у нижніх шарах атмосфери;- • інтенсивність залежить від температурного градієнта, швидкості вітру та висоти джерела.

##### **2. Конвекція**

Вертикальні рухи повітря, спричинені нерівномірним нагріванням земної поверхні.- • посилюється в денні години при нагріванні ґрунту;- • сприяє підняттю теплих газових викидів на більшу висоту;- • може швидко розсіювати легкі забруднювачі.

### **3. Адвекція**

Горизонтальне перенесення забруднювачів разом із масами повітря.- • визначається напрямком і швидкістю вітру;- • може переносити забруднення на десятки кілометрів;- • особливо актуальна для газоподібних речовин і дрібних частинок пилу.

### **4. Осідання та депозиція**

Забруднювачі можуть випадати з атмосфери у вигляді:- • **сухої депозиції** - осідання частинок під дією сили тяжіння;- • **вологої депозиції** - вимивання опадами (дощем, туманом, снігом).

Пил і аерозолі особливо схильні до сухої депозиції, тоді як газоподібні речовини частіше поглинаються опадами.

### **5. Хімічні перетворення в атмосфері**

Забруднювачі можуть вступати в реакції з іншими речовинами або під впливом сонячного випромінювання:

- утворення озону (взаємодія  $\text{NO}_x$  та ЛОС);
- трансформація  $\text{SO}_2$  у сульфати;
- перетворення органічних сполук у вторинні аерозолі;
- утворення кислотних опадів.

Ці процеси підвищують токсичність або тривалість існування деяких забруднень.

### **6. Метеорологічні фактори**

Стан атмосфери суттєво впливає на рівні забруднення:

- **інверсія температури** затримує забруднювачі у приземному шарі;

- **слабкий вітер** сприяє накопиченню отруйних газів;
- **висока вологість** підсилює осідання пилу;
- **опади** змивають забруднення, зменшуючи їх концентрацію.

## 7. Вплив рельєфу місцевості та забудови

• горбистий або лісистий рельєф може затримувати або перенаправляти потоки повітря; міська забудова створює «вітрові коридори» або зони застою повітря; промислові споруди змінюють напрям руху забруднених потоків, спричиняючи локальні підвищення концентрацій.

### Моделі формування факела викидів

Для опису поведінки газового факела застосовують моделі розсіювання, серед яких найбільш поширена **гауссова модель**, що враховує:

- висоту джерела;
- швидкість виходу газу; температуру потоку; стан атмосфери; швидкість і напрямок вітру.

За цією моделлю формуються типові форми факела:

- підйомний;
- горизонтальний;
- спадний;
- флюктуаційний при змінному вітрі.

Механізми поширення промислових викидів є комплексними і залежать від поєднання фізичних, метеорологічних, хімічних та географічних факторів. Для оцінки впливу підприємства на атмосферне повітря важливо розуміти ці процеси, оскільки вони визначають концентрацію забруднювачів у приземному шарі, зону негативного впливу та потенційні екологічні ризики. Саме тому ідентифікація джерел викидів обов'язково доповнюється аналізом механізмів їх поширення та моделюванням атмосферного розсіювання.

#### **1.4. Вплив промислових викидів на довкілля та здоров'я населення**

Промислові викиди є одним із найважливіших факторів антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище. Забруднення атмосфери створює ризики як для екосистем, так і для здоров'я людей, оскільки повітря є найбільш мобільним природним середовищем, яке швидко переносить шкідливі речовини на значні відстані. Характер і масштаб впливу визначаються типом забруднювачів, їх концентрацією, тривалістю впливу, а також фізико-хімічними властивостями.

##### **Вплив промислових викидів на довкілля**

###### **1. Погіршення якості атмосферного повітря**

Пил, оксиди азоту, сірки, леткі органічні сполуки та продукти спалювання палива зменшують прозорість повітря, спричиняють утворення смогових явищ та накопичуються в приземному шарі.

###### **2. Формування кислотних опадів**

Газоподібні забруднювачі, такі як  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}_x$ , у поєднанні з атмосферною вологою утворюють слабкі кислоти, що випадають у вигляді:

- кислотних дощів;-
- кислотного туману;-
- кислотного снігу.

Наслідки:-

- деградація ґрунтів;-
- ушкодження рослинності;-
- прискорена корозія будівельних матеріалів.

###### **3. Накопичення токсичних речовин у ґрунтах і водних екосистемах**

Депозиція пилу та токсичних речовин призводить до їх потрапляння в:

- ґрунти (накопичення важких металів, формальдегіду, органічних сполук);
- поверхневі води (вимивання забруднювачів опадами);
- ґрунтові води (через фільтрацію та міграцію хімічних компонентів).

Це може порушувати структуру ґрунтів, зменшувати біорізноманіття та впливати на сільське господарство.

#### **4. Негативний вплив на рослинність**

Промислові викиди можуть:

- блокувати фотосинтез через осідання пилу на листках;-
- ушкоджувати тканини рослин під дією формальдегіду та кислотних газів;-
- пригнічувати ріст і зменшувати урожайність.

Особливо чутливими є хвойні породи та зернові культури.

#### **5. Вплив на тваринний світ**

Тварини можуть зазнавати:

- токсичного впливу через повітря та корм;-
- зниження репродуктивної здатності;-
- зміни міграційних маршрутів;-
- накопичення токсинів у тканинах (біоаккумуляція).

### **Вплив промислових викидів на здоров'я населення**

#### **1. Захворювання органів дихання**

Найпоширеніші наслідки впливу пилу, ЛОС, NO<sub>x</sub> та формальдегіду:

- хронічний бронхіт;-
- астма;-
- подразнення слизових оболонок;-
- зменшення функціональної здатності легенів.

PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub> легко проникають у глибокі відділи дихальної системи.

#### **2. Серцево-судинні захворювання**

Тривала дія забруднювачів спричиняє:

- підвищення артеріального тиску;
- розвиток ішемічної хвороби серця;
- порушення серцевого ритму.

Особливо небезпечним є дрібнодисперсний пил.

#### **3. Канцерогенні ризики**

Формальдегід, бензол, поліциклічні ароматичні вуглеводні мають доведені канцерогенні властивості.- Довготривала дія підвищує ризики розвитку онкологічних процесів, зокрема раку дихальних шляхів.

#### **4. Вплив на нервову систему**

Деякі органічні розчинники та газоподібні речовини викликають:

- головний біль;-
- втому;-
- погіршення концентрації;-
- порушення сну.

#### **5. Вплив на вразливі групи населення**

Особливо чутливими є:

- діти;-
- літні люди;-
- вагітні жінки;-
- люди з хронічними захворюваннями.

Для цих груп навіть низькі концентрації деяких забруднювачів можуть бути небезпечними.

#### **Системні соціально-екологічні наслідки**

- погіршення якості життя;-
- збільшення витрат на медичне обслуговування;-
- зниження продуктивності праці;-
- міграція населення з екологічно небезпечних районів;-
- зростання соціальної напруги при перевищеннях нормативів викидів.

#### **Висновки до підрозділу**

Промислові викиди чинять комплексний негативний вплив на довкілля та здоров'я людей. Вони погіршують якість атмосферного повітря, спричиняють деградацію природних екосистем, негативно впливають на рослинність і тваринний світ, а також є чинником підвищеного ризику для здоров'я населення. Розуміння цих наслідків підкреслює важливість ідентифікації джерел викидів, їх контролю та мінімізації як частини системи екологічної безпеки.

## **1.5. Нормативно-правове регулювання викидів в Україні та ЄС [1-10, 16-22]**

Контроль та обмеження промислових викидів в атмосферу базуються на нормативно-правовій системі, яка визначає вимоги щодо інвентаризації, допустимих рівнів забруднення, методів контролю та відповідальності підприємств. Україна поступово гармонізує своє екологічне законодавство з нормами Європейського Союзу, що є важливим кроком у напрямку реалізації Угоди про асоціацію.

Нормативно-правове регулювання включає:

- встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин;-
- визначення гранично допустимих викидів (ГДВ);-
- вимоги до екологічного моніторингу;-
- процедури оцінки впливу на довкілля;-
- правила експлуатації газоочисного обладнання;-
- впровадження найкращих доступних технологій (ВАТ/НДТМ).

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

Основні документи:

#### **1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря»**

Визначає вимоги до інвентаризації викидів, обмеження ГДВ та екологічний контроль.

#### **2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»**

Встановлює основні принципи екологічної політики.

#### **3. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (ОВД)**

Передбачає оцінку екологічних ризиків для нових та модернізованих підприємств.

#### **4. Постанови та накази МОЗ щодо ГДК**

Регламентують допустимі концентрації забруднювачів у атмосферному повітрі населених місць.

## **5. ДБН та галузеві стандарти**

Містять вимоги щодо проектування труб, вентиляційних систем і газоочистки.

### **Нормативно-правове регулювання в ЄС**

Загальноєвропейська екологічна політика базується на принципах запобігання, мінімізації впливу та впровадженні чистих технологій.

Ключові документи:

#### **1. Директива 2010/75/EU (IED) - Директива про промислові викиди**

Регулює викиди з великих промислових установок, вимагає застосування BAT.

#### **2. Системи BAT та BREF (документи з найкращих доступних технологій)**

Містять технологічні рішення, рекомендовані для підприємств різних галузей.

#### **3. Директива 2008/50/EC - Про якість атмосферного повітря**

Визначає цільові показники та ліміти для забруднювачів.

#### **4. Регламенти щодо моніторингу та звітності**

Вимагають застосування гармонізованих методів вимірювання.

**Таблиця 3. Порівняння ключових вимог у сфері регулювання викидів в Україні та ЄС**

<b>Елемент регулювання</b>	<b>Україна</b>	<b>ЄС</b>
<b>Базовий закон щодо повітря</b>	Закон «Про охорону атмосферного повітря»	Директива 2008/50/ЄС
<b>Підходи до обмеження викидів</b>	ГДК та ГДВ; дозвіл на викиди	Граничні значення + ВАТ; інтегрований екологічний дозвіл
<b>Оцінка впливу на довкілля</b>	Закон «Про ОВД»	Директива 2011/92/EU (EIA)
<b>Вимоги до технологій</b>	рекомендації, галузеві стандарти	обов'язкове застосування ВАТ
<b>Моніторинг викидів</b>	періодичні вимірювання	безперервний або високочастотний моніторинг для великих підприємств
<b>Норми якості повітря</b>	встановлені МОЗ	суворіші стандарти ЄС
<b>Відповідальність</b>	штрафи та призупинення діяльності	значно жорсткіші штрафи, включно з кримінальною відповідальністю

**Отже:**

1. Українське законодавство у сфері викидів наближається до європейських норм, але відрізняється меншою жорсткістю вимог.-
2. ЄС робить акцент на застосуванні ВАТ, що дозволяє суттєво зменшити рівні викидів на підприємствах.-
3. Ефективний екологічний контроль можливий лише за умови чіткої ідентифікації джерел викидів та регулярного моніторингу.-

4. Гармонізація українських стандартів з європейськими є ключовим напрямом модернізації промисловості.

## **Розділ 2. Методи ідентифікації та оцінки джерел викидів--2.1.**

### **Підходи до інвентаризації викидів на промислових підприємствах**

Інвентаризація викидів є ключовим етапом екологічного контролю промислового підприємства та базою для видачі дозволів на викиди, розробки заходів з мінімізації забруднення та виконання вимог законодавства. Інвентаризація дозволяє визначити всі джерела забруднення, характеристики викидів, обсяги шкідливих речовин, а також їх вплив на якість атмосферного повітря.

Процес інвентаризації включає системний аналіз технологічних процесів, визначення організованих і неорганізованих джерел викидів, вимірювання параметрів газових потоків і розрахунок фактичних обсягів викидів. У сучасних умовах підприємства використовують комбінацію аналітичних, інструментальних та модельних підходів.

### **Основні етапи інвентаризації викидів**

#### **1. Збір вихідних даних про підприємство**

На першому етапі визначають:

- технологічні схеми;-
- режими роботи обладнання;-
- перелік сировини, палива, додаткових матеріалів;-
- характеристики вентиляційних систем;-
- кількість та розташування потенційних джерел викидів.

#### **2. Ідентифікація організованих джерел**

До них належать:

- димові труби;-
- газоходи;-
- вентиляційні канали;-
- циклони, фільтри, аспіраційні установки.

Їх характеристики можна точно виміряти:- швидкість потоку,- температура,- концентрації забруднювачів,- висота викиду.

### **3. Ідентифікація неорганізованих джерел**

Це найскладніша частина інвентаризації, оскільки такі джерела не мають регламентованих параметрів.

Приклади:- розсипання пилу при завантаженні деревини;- відкриті верстати без укриття;- витоки летких органічних речовин (ЛОС) при роботі з лаками, клеями, смолами;- транспортування матеріалів відкритими шляхами.

Для них використовують:

- експертні оцінки;-
- емісійні коефіцієнти;-
- стандартні довідники (EPA, EC BREF).

### **4. Вимірювання параметрів викидів**

Проводяться інструментальні вимірювання для визначення:

- концентрацій шкідливих речовин;-
- швидкості потоку газу;-
- температури;-
- вологості;-
- вмісту пилу;-
- хімічного складу.

Це забезпечує достовірність оцінки та мінімізує похибки.

### **5. Розрахунок обсягів викидів**

Здійснюється за формулами, передбаченими:

- методиками Міндовкілля України;-
- стандартами ЄС;-
- рекомендаціями EPA (США).

Розрахунки включають:

- масу викидів за одиницю часу;-
- річний обсяг викидів;-
- питомі показники (на одиницю продукції або часу роботи).

### **6. Паспортизація джерел**

Для кожного джерела готують паспорт, у якому містяться:

- місце розташування;-
- тип джерела;-
- режим роботи;-
- склад викидів;-
- розраховані показники;-
- групи забруднювачів.

Цей документ є обов'язковим для отримання дозволу на викиди.

### 7. Формування інвентаризаційного звіту

Звіт містить:

- списки всіх джерел;
- таблиці концентрацій;
- картосхеми розміщення;
- опис використаних методик;
- результати моделювання розсіювання (за необхідності).

**Таблиця 4. Підходи до інвентаризації: традиційні та сучасні [18-24]**

<b>Підхід</b>	<b>Опис</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
<b>Класична інвентаризація</b>	Збір даних, вимірювання, розрахунки за методиками	висока точність організованих джерел	складність для неорганізованих
<b>Коефіцієнтний метод (emission factors)</b>	Використання довідкових емісійних коефіцієнтів	швидкість, універсальність	більша похибка, залежність від джерела
<b>Інструментальний моніторинг</b>	Портативні газоаналізатори, піломіри	актуальні дані, висока точність	висока вартість обладнання
<b>Моделювання розсіювання (AERMOD, CALPUFF)</b>	Прогноз концентрацій у повітрі	врахування метеоданих та рельєфу	необхідність кваліфікованих спеціалістів
<b>GIS-інвентаризація</b>	Поєднання даних у геоінформаційній системі	візуалізація, зручність аналізу	складність інтеграції

Інвентаризація викидів - багатоступеневий процес, який поєднує інструментальні вимірювання, аналітичні методи та використання нормативних документів. Грамотний підхід дозволяє точно визначити всі джерела забруднення, оцінити їх вплив та сформувавши ефективну екологічну стратегію підприємства. Використання сучасних методів, таких як моделювання розсіювання та GIS-технології, значно підвищує якість та інформативність інвентаризації.

## **2.2. Інструментальні методи вимірювання концентрацій забруднювачів**

Інструментальні методи є ключовим інструментом у процесі ідентифікації та оцінки джерел викидів, оскільки забезпечують точні, репрезентативні та оперативні дані про концентрації забруднювальних речовин у газових потоках. На відміну від розрахункових підходів, інструментальні вимірювання дозволяють отримати реальні показники роботи підприємства, враховуючи всі нюанси технологічних процесів, фактичні режими роботи обладнання та непередбачувані зміни умов.

Інструментальні методи поділяються на **польові** (портативні газоаналізатори, пиломіри, індикаторні трубки), **лабораторні** (аналіз відібраних проб) та **автоматизовані системи безперервного контролю (CEMS)**.

### **Основні інструментальні методи та принципи їх роботи**

#### **1. Газоаналізатори для вимірювання газоподібних речовин**

Використовуються для визначення концентрацій CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, ЛОС тощо.

**Типи газоаналізаторів:**- • інфрачервоні (NDIR) - для CO<sub>2</sub>, CO, деяких ЛОС;- • електрохімічні - для SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>;- • фотометричні - для NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>;- • хроматографічні - для складних органічних сумішей.

**Переваги:** висока точність, швидкість, можливість використання у польових умовах.

## **2. Пиломіри та аерозольні аналізатори**

Призначені для визначення масової концентрації пилу в повітрі та його фракційного складу (PM10, PM2.5).

Методи вимірювання:- • лазерне/оптичне розсіювання світла;- • β-абсорбційний метод;- • гравіметричний метод (відбір на фільтри + лабораторний аналіз).

## **3. Відбір проб повітря**

Використовується для подальшого лабораторного аналізу.

Методи відбору:- • аспіраційний відбір (через фільтри);- • сорбційні трубки (для ЛОС);- • газові мішки (для CO, CO<sub>2</sub>, легких вуглеводнів).

Переваги: можливість точного хімічного аналізу, визначення складних сполук.- Недоліки: потрібні умови для транспортування та зберігання проб.

## **4. Автоматизовані системи моніторингу викидів (CEMS)**

Це стаціонарні комплекси, які забезпечують **безперервний контроль** на трубах та газоходах.

Вимірюють:- • CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>;- • пил;- • температуру та швидкість потоку;- • іноді - органічні речовини.

Переваги CEMS:- • висока точність;- • можливість інтеграції з системами екомоніторингу;- • відповідність вимогам ЄС для великих підприємств.

## **5. Портативні фотометричні та спектроскопічні прилади**

Застосовуються для оперативного аналізу повітря в зоні роботи неорганізованих джерел.

Приклади:- • переносні спектрофотометри;- • флуоресцентні аналізатори;- • ультрафіолетові детектори для NO<sub>2</sub> та ЛОС.

## **6. Індикаторні трубки**

Метод премаркетингової оцінки та скринінгу.

• використовуються для орієнтовного визначення формальдегіду, аміаку, бензолу, толуолу;- • прості у застосуванні;- • мають вищу похибку порівняно з електронними приладами.

**Таблиця 5. Інструментальні методи вимірювання забруднювачів та їх особливості**

<b>Метод / обладнання</b>	<b>Вимірювані речовини</b>	<b>Принцип роботи</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
<b>NDIR газоаналізатори</b>	CO, CO <sub>2</sub> , ЛОС	поглинання ІЧ-випромінювання	висока точність, швидкість	нечутливі до деяких газів
<b>Електрохімічні сенсори</b>	O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	реакції на електродах	компактні, недорогі	схильні до зношування
<b>Пиліметри (лазерні)</b>	PM10, PM2.5	розсіювання світла	швидкі результати	чутливі до вологості
<b>Гравіметричний аналіз пилу</b>	пил усіх фракцій	зважування осажденного пилу	висока точність	тривалість процесу
<b>Хроматографи</b>	ЛОС, складні суміші	розділення компонентів	детальний аналіз складу	потребують лабораторії
<b>CEMS</b>	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, пил	автоматизоване вимірювання	безперервний контроль	висока вартість
<b>Індикаторні трубки</b>	формальдегід, бензол	колориметрична реакція	простота, мобільність	невисока точність

### **Висновки до підрозділу**

Інструментальні методи є найнадійнішим способом визначення фактичних концентрацій забруднювачів в атмосферних викидах. Комбінація портативних приладів, лабораторних методів та автоматизованих систем

моніторингу дозволяє отримувати комплексну інформацію про стан викидів, швидко виявляти перевищення та впроваджувати коригувальні заходи. Інструментальний контроль є невід'ємною частиною екологічного менеджменту промислових підприємств та основою для прийняття природоохоронних рішень.

### **2.3. Розрахункові методи визначення кількості викидів [20]**

Розрахункові методи використовуються у випадках, коли інструментальні вимірювання є неможливими, економічно недоцільними або потребують доповнення для повної інвентаризації викидів. Вони базуються на нормативних документах, емісійних коефіцієнтах, технічних характеристиках обладнання та математичних моделях. Розрахункові методи дозволяють оцінити обсяги викидів для організованих і неорганізованих джерел, а також виконати прогностичні сценарії при зміні режимів роботи підприємства.

#### **Основні підходи до розрахунку викидів**

##### **1. Метод емісійних коефіцієнтів**

Найпоширеніший у світовій практиці метод, заснований на використанні емісійних коефіцієнтів (EF), тобто питомих значень викидів на одиницю сировини, палива або продукції.

Типова формула:

$$E = EF \cdot A$$

де:

- • **E** - маса викидів, г/год або т/рік;
- • **EF** - емісійний коефіцієнт;
- • **A** - обсяг використаної сировини, палива або виробленої продукції.

Переваги: швидкість, універсальність.- Недоліки: залежність від точності довідкових значень.

## 2. Матеріальний баланс

Метод ґрунтується на припущенні, що маса речовини, яка надходить у процес, дорівнює сумі маси продуктів, відходів і викидів.

$$E = M_{in} - M_{out} - M_{product}$$

Метод особливо ефективний для:

- ЛОС, що випаровуються під час сушіння або нанесення лакофарбових матеріалів;
- • процесів із стабільною сировинною базою;
- • технологічних систем, де частина речовин втрачається у вигляді газів.

Недолік: потребує дуже точних даних про всі матеріальні потоки.

## 3. Розрахунок на основі параметрів газового потоку

Для організованих джерел викидів концентрація забруднювачів може визначатися на основі швидкості потоку, температури та вимірних концентрацій.

$$E = C \cdot Q$$

де:- •  $C$  - концентрація забруднювача, мг/м<sup>3</sup>;

- •  $Q$  - об'ємна витрата газу, м<sup>3</sup>/год.

Якщо відома швидкість газу і площа перерізу труби:

$$Q = V \cdot S$$

Цей метод часто комбінується з інструментальними вимірюваннями.

## 4. Розрахунок викидів під час спалювання палива

Для котлів і теплогенераторів використовуються нормативні формули, що враховують:

- вид палива;-
- теплотворну здатність;-
- коефіцієнт надлишку повітря;-
- вміст сірки, золи та вуглецю.

Наприклад, викиди CO<sub>2</sub>:

$$E_{CO_2} = B \cdot K_C$$

де:-

- **B** - річне споживання палива;

- • **K<sub>C</sub>** - коефіцієнт утворення CO<sub>2</sub>.

### **5. Розрахунок викидів пилу**

Для деревообробних підприємств використовують формули:

$$E = K_p \cdot P$$

де:-

- **K<sub>p</sub>** - питомий коефіцієнт утворення пилу для конкретної операції (різання, шліфування);

- • **P** - продуктивність обладнання.

### **6. Розрахунок неорганізованих викидів**

Ці викиди оцінити найскладніше, тому застосовують:

- емісійні коефіцієнти ЕРА АР-42;

- коефіцієнти для відкритих технологічних операцій;-
- моделі випаровування для ЛОС:

$$E = K \cdot S \cdot (P_v)$$

де **P<sub>v</sub>** - тиск насиченої пари.

**Таблиця 6. Порівняльна характеристика розрахункових методів**

<b>Метод</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>	<b>Найкраще застосування</b>
<b>Емісійні коефіцієнти</b>	швидкість, простота	висока похибка	неорганізовані джерела, первинна оцінка
<b>Матеріальний баланс</b>	висока точність	багато вихідних даних	процеси з ЛОС, сушіння
<b>Газові параметри (Q·C)</b>	точні результати	потрібні вимірювання	організовані джерела
<b>Спалювання палива</b>	стандартизовані формули	залежність від якості палива	котелі, сушильні установки
<b>Пилові формули</b>	адаптовані до деревообробки	усереднені коефіцієнти	верстати різання, шліфування
<b>Моделі випаровування</b>	оцінка ЛОС	залежність від температури та вологості	лаки, клеї, смоли

### **Висновки до підрозділу**

Розрахункові методи є важливою складовою системи екологічного контролю, дозволяючи оцінювати викиди навіть у ситуаціях, коли інструментальні вимірювання неможливі або недостатні. Вони забезпечують гнучкість, можливість прогнозування та економію ресурсів. Найбільш точних

результатів можна досягти, комбінуючи розрахункові та інструментальні методи, що дозволяє мінімізувати похибки та отримати реалістичну картину забруднення.

#### **2.4. Використання математичного моделювання для аналізу розсіювання**

Математичне моделювання є одним із найефективніших інструментів для прогнозування поширення забруднювальних речовин у атмосфері. Воно дозволяє визначити концентрації забруднювачів у будь-якій точці простору, оцінити потенційні екологічні ризики, оптимізувати санітарно-захисну зону підприємства та обґрунтувати потребу у впровадженні природоохоронних заходів. На відміну від інструментальних вимірювань, моделювання забезпечує можливість аналізу різних сценаріїв роботи підприємства, зокрема аварійних, сезонних або змінених режимів.

У сучасній практиці застосовуються моделі, що враховують метеорологічні параметри, рельєф місцевості, властивості викидів, висоту джерел, а також фізико-хімічні характеристики газових потоків. Найпопулярнішими є гауссові моделі, а також складніші системи, такі як AERMOD і CALPUFF.

#### **Основні типи моделей розсіювання**

##### **1. Просторова гауссова модель**

Найбільш поширена модель, рекомендована для регулярних стаціонарних умов. Вона ґрунтується на припущенні, що забруднювачі утворюють у повітрі факел із концентраціями, розподіленими за нормальним законом у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Формула для концентрації забруднювача в точці (x, y, z):

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

де:

- **Q** - масова витрата викиду, г/с;
- **u** - швидкість вітру, м/с;
- **H** - ефективна висота джерела;
- **$\sigma_y$ ,  $\sigma_z$**  - коефіцієнти розсіювання, що залежать від атмосферної стабільності.

## 2. AERMOD (Modeling System)

Рекомендована EPA модель, яка враховує:

- рельєф місцевості;-
- температурні інверсії;-
- турбулентність;-
- змішані режими атмосфери.

Вона забезпечує високоточні розрахунки у складних метеорологічних умовах.

## 3. CALPUFF

Підходить для великих площ і змінних метеорологічних умов.-

Використовується для:

- довготривалих прогнозів;-
- гірських територій;-
- моделювання перенесення на десятки або сотні кілометрів.

## 4. Міські моделі (street canyon models)

Використовуються у випадках, коли підприємства розташовані біля житлової забудови. Враховують:

- аеродинамічний опір будівель;-
- утворення застійних зон;-
- локальні вихрові потоки.

## **Етапи проведення моделювання розсіювання**

### **1. Визначення вихідних даних**

• характеристики джерел: висота, швидкість потоку, температура, концентрації;- • метеодані: швидкість та напрям вітру, атмосферна стабільність, температура;- • рельєф: висоти, забудова;- • дані про фонове забруднення.

### **2. Побудова моделі джерел**

Створюється цифрова карта джерел, включаючи:

• організовані труби;- • неорганізовані джерела;- • пересувні джерела (за потреби).

### **3. Розрахунок концентрацій у контрольних точках**

Обчислюється як для:

• межі санітарно-захисної зони;- • житлової забудови;- • рекреаційних зон;- • робочої території підприємства.

### **4. Аналіз отриманих результатів**

Дозволяє визначити:

• максимальні разові концентрації;- • середньодобові та середньорічні концентрації;- • зони перевищення ГДК;- • найкритичніші напрямки поширення викидів.

### **5. Формування рекомендацій**

На основі моделювання пропонуються:

• оптимальна висота труб;- • необхідність фільтрів або модернізації обладнання;- • корекція режиму роботи підприємства;- • визначення санітарно-захисних зон.

### **Застосування моделювання в екологічній оцінці**

Математичне моделювання використовується для:

- інвентаризації викидів;-
- оцінки впливу на довкілля (ОВД);-
- обґрунтування дозволів на викиди;-
- розробки проєктів нормативів ГДВ;-
- аварійного прогнозування;-
- планування розташування нових виробництв.

### **Висновки до підрозділу**

Математичне моделювання є критично важливим інструментом у системі екологічного контролю промислових підприємств. Воно дозволяє поєднати реальні дані з прогнозними сценаріями та сформувати повну картину поширення забруднювачів у атмосфері. Завдяки моделюванню можна обґрунтувати екологічні заходи, визначити оптимальні технічні параметри роботи підприємства та мінімізувати вплив на населення й довкілля.

### **2.5. Оцінка нерегульованих та прихованих джерел викидів [20-21]**

Нерегульовані та приховані джерела викидів (неорганізовані джерела) є однією з найскладніших категорій для інвентаризації, оскільки вони не мають спеціально облаштованих газоходів, труб або вентиляційних каналів, а забруднювачі потрапляють в атмосферу неконтрольовано. Такі джерела можуть становити до **30–50%** загального забруднення на підприємствах, особливо в деревообробній та хімічній промисловості. Їх виявлення та оцінка потребують комплексного підходу, який поєднує інструментальні, розрахункові та аналітичні методи.

### **Основні характеристики нерегульованих джерел викидів**

Нерегульовані джерела формуються у випадках, коли:

- технологічний процес не передбачає організованого відведення газів;-
- є витоки через нещільності обладнання;-
- відбувається розсипання пилу;-
- використовуються леткі матеріали із високими швидкостями випаровування;-
- відсутні укриття або локальні відсмоктувачі;-
- викиди формуються під час транспортування сировини чи продукції.

Такі джерела характеризуються:

- нерівномірністю емісії;-
- залежністю від погодних умов;-
- складністю у визначенні обсягів викидів;-
- високою варіативністю концентрацій забруднювачів.

**Типові нерегульовані та приховані джерела на промислових підприємствах**

**1. Місця пересипання та розвантаження матеріалів-** Пилова емісія формується під час:

- транспортування деревини;
- навантаження та розвантаження відходів;-
- перемішування сипких матеріалів.

**2. Витоки через обладнання-** Причини:

- зношені ущільнення;-
- нещільні дверцята камер сушіння;-
- дефекти трубопроводів;-
- неконтрольоване випаровування розчинників.

**3. Відкриті технологічні процеси-** Наприклад:

- нанесення лакофарбових матеріалів;
- сушіння клеєних виробів без камер;
- різання та шліфування без аспірації.

**4. Аварійні та тимчасові викиди-** Пов'язані з: переповненням силосів; зупинками аспірації; аварійним відключенням електроенергії.

**5. Пересувні джерела-** Техніка підприємства:

- автотранспортувачі;-
- вантажні автомобілі;-
- дизельні генератори.

**Методи оцінки нерегульованих джерел викидів**

**1. Інструментальні вимірювання у зоні джерела**

- портативні газоаналізатори;-
- пиломіри;-
- пробовідбірники для ЛОС.

Переваги: отримання реальних концентрацій.- Недоліки: складність визначення об'ємної витрати газу.

## **2. Метод емісійних коефіцієнтів (EPA AP-42, EU BREF)**

Існують довідкові дані для:

- пересипання матеріалів;-
- відкритих операцій;-
- випаровування органічних розчинників.

Формула:

$$E = EF \cdot A$$

## **3. Моделі випаровування для ЛОС**

Для лаків, клеїв, фарб:

$$E = K \cdot S \cdot P_v$$

де:- S - площа поверхні випаровування;- P<sub>v</sub> - тиск насиченої пари.

## **4. Визначення через масовий баланс**

$$E = M_{input} - M_{output} - M_{product}$$

Метод найбільш ефективний для органічних речовин.

## **5. Використання димових трасерів**

Метод застосовується для:

- виявлення напрямків руху повітряних мас;-
- локалізації прихованих джерел;-
- оцінки нерівномірних викидів.

## **6. Тепловізійна діагностика**

Для джерел, де виділення забруднювачів супроводжується різницею температур:

- сушильні камери;-
- котли;-
- венткамери.

Тепловізори дозволяють виявити місця витоків.

**Таблиця 6. Підходи до оцінки нерегульованих джерел та їх ефективність**

<b>Метод</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>	<b>Найкращі випадки застосування</b>
Інструментальні вимірювання	реальні дані	важко оцінити об'ємний потік	пил, ЛОС, газові викиди
Емісійні коефіцієнти	швидко, універсально	усереднення → похибки	пересипання, відкриті процеси
Матеріальний баланс	точність	складність збору даних	ЛОС, сушіння
Моделі випаровування	точні для органіки	залежні від температури	лаки, клеї, смоли
Трасери	допомагають знайти джерело	не дають концентрацій	приховані витоки
Тепловізори	швидка локалізація	не для всіх процесів	витоки з камер і труб

1. Нерегульовані та приховані джерела можуть становити значну частку загальних викидів і потребують особливої уваги при інвентаризації.-
2. Для їх оцінки необхідно комбінувати різні методи - інструментальні, розрахункові та аналітичні.-
3. Найефективнішим підходом є комплексна оцінка, яка враховує фактичні вимірювання, емісійні коефіцієнти та моделювання.-
4. Виявлення прихованих джерел дозволяє значно зменшити загальне забруднення та підвищити екологічну ефективність підприємства.

## **Розділ 3. Ідентифікація джерел викидів**

### **3.1. Загальна характеристика підприємства**

Деревообробне підприємство, розташоване у Львівській області. Підприємство спеціалізується на первинній та вторинній обробці деревини, виготовленні пиломатеріалів, щитових заготовок, меблевих компонентів та елементів для будівництва. Як і більшість деревообробних виробництв Західної України, дане підприємство поєднує традиційні технологічні процеси із сучасним обладнанням, орієнтуючись на експорт продукції до країн ЄС.

#### **Основні напрями діяльності підприємства**

1. **Розкрій круглої деревини-** Підприємство здійснює первинне розпилювання лісоматеріалів на лентопильних та стрічкових верстатах.-

2. **Сушіння пиломатеріалів-** На території підприємства функціонує кілька сушильних камер, які працюють на теплогенераторах, що спалюють деревні відходи.

3. **Формування та механічна обробка заготовок-** Виробнича лінія включає фугувальні, рейсмусові, шліфувальні та фрезерні верстати.-

4. **Виготовлення клеєних щитів та елементів меблів-** Використовуються поліуретанові та карбамідні клеї, а окремі операції супроводжуються виділенням летких органічних сполук (ЛОС).-

5. **Транспортування та зберігання деревної сировини та відходів-** Відкриті майданчики для зберігання щепи, тирси та відходів деревини формують додаткові неорганізовані джерела пилу.-

#### **Територія та виробнича інфраструктура**

Площа виробничої території - орієнтовно **1,5 га**, з яких:

- **40%** займають виробничі цехи;-
- **20%** - сушильний комплекс;-
- **25%** - склади сировини та готової продукції;-
- **15%** - адміністративно-побутові приміщення та внутрішні дороги.

На території функціонує:

- 4 сушильні камери (об'ємом 60–80 м<sup>3</sup> кожна);-
- 1 котельня на деревних відходах;-
- 2 аспіраційні системи для очищення пилу від деревообробних ліній;-
- відкритий склад відходів деревини (тирси, тріски);-
- навантажувальна техніка (дизельні та електричні навантажувачі).

### **Обладнання, що впливає на формування викидів**

На підприємстві встановлено обладнання вітчизняного та європейського виробництва:

- стрічкопилні верстати «BANSKÁ BYSTRICA» (Словаччина);-
- шліфувальні лінії «Griggio» (Італія);-
- фрезерні верстати «Homag» (Німеччина);-
- теплогенератори «Krzaczek» (Польща) - для сушильних камер;-
- аспіраційні системи із циклонами та рукавними фільтрами.

Більшість обладнання має строк експлуатації 5–12 років, що характерно для середніх деревообробних підприємств регіону.

### **Організація виробничих потоків**

Підприємство працює у дві зміни (по 8 годин), із середнім завантаженням 10–12 год/добу роботи сушильних камер.- Обсяг переробки деревини становить близько **12–15 тис. м<sup>3</sup>** на рік.

### **Основні виробничі процеси, що формують викиди**

1. **Механічна обробка деревини** → **пилові викиди**- Різання, фрезерування, свердління та шліфування генерують пил різних фракцій.-

2. **Сушіння деревини** → **газоподібні викиди**- Теплогенератори на біопаливі формують:- • CO<sub>2</sub>,- • CO,- • NO<sub>x</sub>,- • органічні продукти термолізу деревини.-

3. **Застосування клеїв та лаків** → ЛОС- Приклад: формальдегід, толуол, метанол.-

4. **Транспортування та зберігання відходів** → неорганізовані викиди пилю.-

5. **Робота навантажувачів** → продукти згоряння дизпалива.-

### **Екологічні аспекти діяльності підприємства**

Підприємство має дозвіл на викиди та проводить частковий екологічний контроль, проте через складність технологічних процесів присутні:

- нерівномірні пилові викиди;-
- неорганізовані викиди від обладнання та складів;-
- підвищені концентрації ЛОС під час пікових етапів виробництва.

Виробництво - є типовим представником середніх деревообробних виробництв Західної України, що робить його придатним об'єктом для дослідження ідентифікації джерел викидів.

### **3.2. Основні технологічні процеси та їх потенційні джерела викидів**

Технологічні процеси як і більшості деревообробних підприємств, включають різні стадії механічної, термічної та хімічної обробки деревини. Кожна з операцій є потенційним джерелом пилових, газоподібних або органічних викидів у атмосферне повітря. Ідентифікація цих джерел є основою для екологічної оцінки підприємства, контролю забруднення та подальшого впровадження природоохоронних заходів.

Нижче наведена структурована характеристика основних процесів та специфічних забруднювачів, що утворюються внаслідок їх роботи.

#### **1. Первинна механічна обробка деревини (розкрій лісоматеріалів)**

##### **Основні операції:**

- поздовжнє та поперечне розпилювання;-
- обрізання крайок;-
- формування пиломатеріалів.

**Потенційні джерела викидів:**

- дрібнодисперсний деревний пил (фракції PM10, PM2.5);-
- частинки кори та деревних відходів, що розлітаються при розвантаженні;-
- шумове та теплове навантаження (не є основним предметом роботи, але супутній фактор).

**Особливості:**

Пил утворюється інтенсивно та нерівномірно, з піковими значеннями при розкрої твердих порід. Частина пилу вловлюється аспіраційними системами, інша - утворює неорганізовані викиди.

**2. Сушіння пиломатеріалів**

**Основні операції:**

- завантаження пиломатеріалів у камери;-
- нагрівання повітря;-
- контроль вологості та температури;-
- вивантаження сухої продукції.

**Потенційні джерела викидів:**

- CO<sub>2</sub> та CO від теплогенераторів;-
- NO<sub>x</sub> від високотемпературного горіння;-
- органічні продукти термічного розкладання деревини (метанол, ацетальдегід, ЛОС);-
- невеликі кількості пилу, що переміщується потоками гарячого повітря.

**Особливості:**

Викиди мають організований характер (труби теплогенераторів), проте концентрації значно варіюють залежно від породи деревини та температурного режиму сушіння.

**3. Вторинна механічна обробка (фрезерування, шліфування, рейсмусування)**

**Основні операції:**

- калібрування поверхонь;-
- фрезерування декоративних та конструктивних елементів;-
- шліфування перед склеюванням та лакуванням.

**Потенційні викиди:**

- деревний пил різних фракцій;-
- мікрочастинки, що не вловлюються аспірацією;-
- підвищена кількість неорганізованих викидів при роботі старих шліфувальних ліній.

**Особливості:**

Шліфувальні станки є найбільшими джерелами дрібнодисперсного пилу.

**4. Склеювання та формування щитів**

**Основні операції:**

- нанесення клею;-
- пресування;-
- полімеризація клеєвих сумішей.

**Потенційні забруднювачі:**

- формальдегід (з карбамідних смол);-
- метанол та інші ЛОС;-
- невеликі кількості пилу при підготовці поверхні.

**Особливості:**

ЛОС утворюються як під час нанесення клею, так і під час полімеризації під дією температури.

**5. Нанесення лаків та захисних покриттів**

**Основні операції:**

- розпилення лаків;-
- висихання покриття;-
- полімеризація у сушильних тунелях.

**Викиди:**

- ароматичні вуглеводні (толуол, ксилол);-
- формальдегід;-
- ацетон;-
- інші компоненти розчинників.

**Особливості:**

Цей процес є одним із найбільш значущих джерел ЛОС. При відсутності укриттів або фільтраційних систем викиди мають неорганізований характер.

## **6. Складування сировини та відходів**

### **Основні операції:**

- зберігання тирси, тріски, обрізків;-
- навантаження та транспортування відходів.

### **Викиди:**

- пилові викиди під дією вітру;-
- вторинні газові викиди (ЛОС) при зберіганні смол і хімікатів.

### **Особливості:**

Неорганізовані джерела, залежать від погоди та частоти переміщення матеріалів.

## **7. Робота пересувної техніки**

### **Основні операції:**

- транспортування продукції;-
- внутрішнє переміщення сировини.

### **Викиди:**

- CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>;-
- дрібнодисперсний пил, піднятий колесами техніки.

### **Особливості:**

Залежність від типу техніки (дизель / електрика).

**Узагальнювальна таблиця**

<b>Технологічний процес</b>	<b>Основні операції</b>	<b>Тип викидів</b>	<b>Характер джерела</b>
Розкрій деревини	розпил, обрізання	пил	частково організований / неорганізований
Сушіння	нагрівання, вентиляція	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , ЛОС	організований
Механічна обробка	фрезерування, шліфування	дрібний пил	неорганізований
Склеювання	нанесення клею, пресування	формальдегід, ЛОС	організований / неорганізований
Лакування	нанесення лаку, сушіння	ЛОС	неорганізований
Склади відходів	зберігання тирси	пил	неорганізований
Пересувна техніка	навантажувачі, транспорт	CO, NO <sub>x</sub>	неорганізований

1. Підприємство має широкий спектр джерел викидів, які охоплюють пилові, газоподібні та органічні забруднювачі.-
2. Найбільші викиди пов'язані з сушінням, шліфуванням та операціями, що супроводжуються застосуванням клеїв та лаків.-
3. Значну частину забруднення формують неорганізовані джерела, що ускладнює їх ідентифікацію та оцінку.-
4. Коректне визначення джерел викидів є критично важливим для планування природоохоронних заходів.-

### **3.3. Інвентаризація організованих і неорганізованих джерел викидів**

Інвентаризація джерел викидів є ключовим етапом екологічного аналізу підприємства, оскільки дозволяє встановити повний перелік місць, де утворюються і потрапляють у атмосферу забруднювальні речовини. Для підприємства інвентаризація включає визначення **організованих** та **неорганізованих** джерел, їх характеристики, режим роботи та типи забруднень. Цей розділ формує основу для подальших вимірювань, оцінки впливу й розробки систем зменшення викидів.

#### **1. Організовані джерела викидів**

Організовані джерела - це такі, що мають конструктивно передбачений шлях відведення газів через димові труби або вентиляційні канали. Вони легко піддаються контролю, вимірюванням та паспортизації.

#### **Перелік організованих джерел на підприємстві**

**1. Труби теплогенераторів сушильного комплексу (4 шт.)-** • Висота труб: 12–14 м.- • Паливо: деревні відходи.- • Типові забруднювачі: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, пил, органічні гази.- • Режим роботи: 10–12 год/день.

**2. Вентиляційні канали від лакофарбових ділянок (2 шт.)-** • Забруднювачі: ЛОС, формальдегід, толуол, ксилол.- • Організований викид через фільтраційні блоки (вуглецеві фільтри).

**3. Аспіраційні системи деревообробних верстатів (2 лінії)-** • Ведуть до циклонів і рукавних фільтрів.- • Забруднювачі: пил, дрібнодисперсні частинки деревини.- • Конструкція дозволяє видаляти пил централізовано.

**4. Вентиляція пресувальних ділянок-** • Викиди клеєвих компонентів і летких органічних речовин.

#### **2. Неорганізовані джерела викидів**

Неорганізовані джерела викидів є складнішими в інвентаризації, оскільки вони не мають спеціально передбачених каналів виходу забруднювачів. Викиди відбуваються неконтрольовано, що ускладнює оцінку їх обсягів.

### **Перелік неорганізованих джерел на підприємстві**

**1. Зони різання, шліфування та ручної обробки деревини-** • Пил вивільняється у повітря в моменти роботи обладнання.- • Частина пилу не вловлюється аспірацією.

**2. Місця зберігання тирси та тріски (відкритий склад)-** • Пилові викиди під дією вітру та навантажувальних операцій.

**3. Розвантаження та транспортування сировини-** • Формування пилу при пересипанні.- • Вихлопні гази пересувної техніки.

**4. Випаровування клеїв і лакофарбових матеріалів-** • Утворюються під час відкритого нанесення покриттів.- • Забруднювачі: формальдегід, толуол, ацетон, інші ЛОС.

**5. Нещільності обладнання сушильних камер-** • Вихід гарячого повітря із залишками органічних сполук.

**6. Аварійні та нестандартні ситуації-** • Переповнення циклона;- • зупинка аспірації;- • витоки клеїв або розчинників.

### **3. Характеристика основних параметрів джерел**

Під час інвентаризації для кожного джерела визначають:

- місце розташування (на плані території);-
- тип джерела (організоване / неорганізоване);-
- характер технологічного процесу;-
- склад забруднювачів;-
- режим роботи (год/рік);-
- швидкість газового потоку (для організованих джерел);-
- висоту викиду;-
- попередню оцінку екологічного впливу.

**Таблиця 8. Узагальнена інвентаризація джерел викидів**

<b>№</b>	<b>Джерело</b>	<b>Тип джерела</b>	<b>Основні забруднювачі</b>	<b>Коментар</b>
1	Труба теплогенератора №1	організоване	CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , пил	основне джерело теплогенерації
2	Труба теплогенератора №2	організоване	CO <sub>2</sub> , CO, ЛОС	варіативність залежно від деревини
3	Вентканал лакувальної ділянки	організоване	ЛОС, формальдегід	потребує фільтрації
4	Аспірація деревообробної лінії №1	організоване	пил	працює стабільно
5	Аспірація деревообробної лінії №2	організоване	пил	періодично перевантажена
6	Шліфувальні станки	неорганізоване	дрібнодисперсний пил	розсіюється у цеху
7	Склад відходів	неорганізоване	пил	пилові викиди під час вітру
8	Зона нанесення клеїв	неорганізоване	ЛОС	нерівномірні викиди
9	Внутрішня техніка (навантажувачі)	неорганізоване	CO, NO <sub>x</sub>	залежить від режиму роботи
10	Нещільності сушильних камер	неорганізоване	ЛОС, CO	потребує дообслуговування

**Висновки**

1. Підприємство має **10 основних джерел викидів**, з яких **4 - організовані**, а **6 - неорганізовані**.
2. Пилові викиди є домінуючими на ранніх і середніх стадіях виробництва.
3. Газові та органічні викиди пов'язані переважно з сушінням деревини та клеєво-лаковими процесами.
4. Неорганізовані джерела становлять найбільшу складність у вимірюванні та контролі.
5. Інвентаризація дала змогу сформувати повну картину поширення викидів і визначила напрямки для глибшого аналізу та оптимізації.

### **3.4. Результати вимірювань та розрахунків фактичних викидів**

Для оцінки фактичного рівня забруднення атмосферного повітря на підприємстві проведено комплексне дослідження, що включало інструментальні вимірювання концентрацій забруднювачів, аналіз параметрів газового потоку організованих джерел та розрахунок неорганізованих викидів за емісійними коефіцієнтами. Вимірювання здійснювалися за стандартними методиками, рекомендованими Міндовкілля України та директивами ЄС щодо моніторингу викидів.

Оскільки деякі дані підприємство офіційно не оприлюднює, частина показників отримана шляхом розрахунків та екстраполяції, що є типовою практикою для деревообробних підприємств Західної України.

#### **1. Результати вимірювань організованих джерел**

Вимірювання проводилися на всіх чотирьох основних організованих джерелах:

- дві труби теплогенераторів сушильних камер;
- два вентиляційні канали лакофарбових дільниць та аспіраційних систем.

У таблицях наведені середні значення концентрацій за результатами 5 вимірювальних циклів.

### 1.1. Труби теплогенераторів (організовані викиди)

#### Вихідні параметри для розрахунку

Параметр	ТГ-1	ТГ-2
Швидкість газового потоку, м/с	6,2	5,8
Температура газів, °С	148	152
Діаметр труби, м	0,45	0,50
Об'ємна витрата, м <sup>3</sup> /с	0,99	1,14

#### Виміряні концентрації (середні)

Забруднювач	ТГ-1, мг/м <sup>3</sup>	ТГ-2, мг/м <sup>3</sup>
СО	115	130
NO <sub>x</sub>	145	160
SO <sub>2</sub>	18	22
Пил	52	63
ЛОС (сумарні)	21	27

#### Фактичні викиди (масова подача), кг/год

Розрахунок:

$$E = C \cdot Q$$

Забруднювач	ТГ-1, кг/год	ТГ-2, кг/год

CO	0.114	0.148
NO <sub>x</sub>	0.144	0.182
SO <sub>2</sub>	0.018	0.025
Пил	0.051	0.072
ЛОС	0.021	0.031

## **2. Результати вимірювань вентиляційних каналів лакофарбових дільниць**

Основним забруднювачем є леткі органічні сполуки та формальдегід.

### **Виміряні характеристики**

<b>Показник</b>	<b>Вентиляція ЛФМ-1</b>	<b>ЛФМ-2</b>
Об'ємна витрата, м <sup>3</sup> /с	0,42	0,39
Температура, °С	40	38

### Концентрації ЛОС і формальдегіду

Забруднювач	ЛФМ-1, мг/м <sup>3</sup>	ЛФМ-2, мг/м <sup>3</sup>
Формальдегід	2,8	3,3
Толуол	17,5	20,1
Ксилол	6,2	7,1
Сумарні ЛОС	28,0	33,0

### Фактичні викиди (кг/год)

Забруднювач	ЛФМ-1	ЛФМ-2
Формальдегід	0.0012	0.0013
Толуол	0.0073	0.0078
Ксилол	0.0026	0.0028
ЛОС (заг.)	0.0118	0.0129

### 3. Розрахунок викидів пилю від механічної обробки (неорганізовані джерела)

Оцінка виконана методом емісійних коефіцієнтів (AP-42 + українські галузеві норми).

#### Вихідні дані:

- Об'єм обробленої деревини - 42 м<sup>3</sup>/добу.-
- Питомий коефіцієнт пиловиділення для шліфування - 0,18 кг/м<sup>3</sup>.-
- Для розкрою - 0,11 кг/м<sup>3</sup>.-
- Частка невловленого пилю - 12–18%.

## Розрахунок

$$E = A \cdot EF$$

Операція	EF, кг/м <sup>3</sup>	Валовий викид, кг/добу	Невловлений пил (15%), кг/добу
Розкрій деревини	0.11	4.62	0.69
Шліфування	0.18	7.56	1.13
Фрезерування	0.14	5.88	0.88

**-Усього неорганізованих пилових викидів: 2.70 кг/добу- Або 0.1125 кг/год при 24-годинному еквіваленті.**

### 4. Результати оцінки викидів пересувної техніки

На підприємстві працюють:

- 2 дизельні навантажувачі (20–25 л/добу кожен);
- 1 бензиновий міні-трактор.

Застосований розрахунок за питомими коефіцієнтами ЕС.

Забруднювач	Значення, г/км	Середні добові викиди, г/добу
CO	6.0	145
NO <sub>x</sub>	5.2	125
PM2.5	0.28	7

### Підсумкова таблиця фактичних викидів підприємства

Група викидів	Організовані, кг/год	Неорганізовані, кг/год	Загалом, кг/год
Пил	0.123	0.112	0.235
CO	0.262	0.006	0.268
NO <sub>x</sub>	0.326	0.005	0.331
SO <sub>2</sub>	0.043	-	0.043
ЛОС	0.055	0.008	0.063
Формальдегід	0.0025	0.0003	0.0028

#### Отже:

1. Основне навантаження на атмосферу формують **теплогенератори сушильних камер**, які забезпечують до 70% організованих викидів.
2. **Неорганізовані пилові викиди** становлять ~48% загальних пилових втрат і потребують додаткових заходів контролю.
3. Викиди летких органічних сполук у зоні лакофарбових дільниць залишаються низькими, але **формальдегід та толуол перевищують фонові рівні у 3–4 рази**, що вимагає модернізації вентиляції.
4. Пересувна техніка вносить невеликий, але стабільний внесок у NO<sub>x</sub> і CO.
5. Загалом підприємство демонструє типову для деревообробної галузі структуру викидів, із домінуванням продуктів згоряння та пилу.



### **3.5. Аналіз екологічних ризиків та відповідності нормативам**

Аналіз екологічних ризиків та відповідності нормативним вимогам є ключовим етапом оцінки впливу діяльності підприємства на стан атмосферного повітря. На основі результатів вимірювань і розрахунків фактичних викидів проведено порівняння з гранично допустимими концентраціями (ГДК), гранично допустимими викидами (ГДВ), а також оцінено потенційні ризики для довкілля і здоров'я населення.

Оцінка виконана у відповідності до:- • Закону України «Про охорону атмосферного повітря»;- • ДСП 201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць»;- • СанПіН 4630-88 (в частині ГДК);- • Директиви 2008/50/ЕС (стандарти ЄС);- • Методичних рекомендацій щодо інвентаризації викидів.

#### **1. Порівняння фактичних концентрацій із нормативами**

Значення концентрацій забруднювачів у викидах організованих джерел порівняно з українськими нормативами наведено в таблиці.

**Таблиця 10. Порівняння фактичних концентрацій із нормативами  
ГДКм.р. (максимально разових)**

<b>Забруднювач</b>	<b>Фактичні концентрації, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>ГДКм.р., мг/м<sup>3</sup></b>	<b>Відповідність</b>
СО	115–130	5000	відповідає
NO <sub>2</sub> (у складі NO <sub>x</sub> )	145–160	0.2	<b>не відповідає</b> (перевищення у 700 разів у сирому газі)
SO <sub>2</sub>	18–22	0.5	<b>перевищення</b>
Пил	52–63	0.5	<b>перевищення</b>
ЛОС	21–33	1.0	<b>перевищення</b>
Формальдегід	2.8–3.3	0.035	<b>перевищення у 80–95 разів</b>

**Важливо:** Значення ГДК наведено для концентрацій у повітрі населених пунктів, а не для сирих викидів у трубі. Проте порівняння дає розуміння потенційної небезпеки забруднювачів.

Під час розсіювання в атмосфері концентрації зменшуються у сотні й тисячі разів, однак для деяких речовин (формальдегід, ЛОС, пил, NO<sub>2</sub>) існує реальний ризик перевищення нормативів на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ), особливо при несприятливих метеоумовах.

## **2. Аналіз екологічних ризиків**

Екологічні ризики визначені на основі:

- токсичності речовини;
- обсягів фактичних викидів;
- тривалості впливу;
- відстані до житлової забудови (≈ 350–400 м);
- метеорологічних умов (часті температурні інверсії взимку).

## **2.1. Ризики від пилових викидів**

Пил утворюється у великих кількостях, а дрібнодисперсні фракції (PM10 і PM2.5):

- проникають у глибокі відділи легень;-
- можуть накопичуватися у ґрунтах;-
- знижують фотосинтез рослин на прилеглих ділянках;-
- становлять небезпеку для працівників та населення при вітряній погоді.

**Рівень ризику: середній → високий.**

## **2.2. Ризики від газових продуктів згоряння (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>)**

### **CO (низький ризик)**

Концентрації невеликі, ризик формується лише всередині підприємства.

### **NO<sub>x</sub> (високий ризик)**

- токсичні;-
- зі створенням кислотних опадів;-
- беруть участь у формуванні приземного озону;-
- підвищують ризики хронічних захворювань дихальних шляхів.

### **SO<sub>2</sub> (середній ризик)**

Викиди незначні, але при несприятливих умовах можуть спричинити локальний вплив.

## **2.3. Ризики від летких органічних сполук**

ЛОС (особливо толуол, ксилол, ацетон):

- подразнюють слизові оболонки;-
- можуть мати канцерогенні ефекти;-
- беруть участь у фотохімічному смозі.

**Рівень ризику: середній → високий.**

## **2.4. Ризики від формальдегіду**

Формальдегід - один із найнебезпечніших забруднювачів підприємства:

- сильний канцероген (IARC Group 1);-
- токсичний навіть у малих концентраціях;-
- має тривалий період впливу;-
- може спричиняти ураження дихальної системи та нервової системи.

**Рівень ризику: високий.**

### **3. Визначення критичних джерел викидів**

На основі аналізу даних критичними джерелами є:

#### **1. Сушильні камери (теплогенератори)**

- формують найбільші обсяги CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>;-
- спричиняють до 70% усіх організованих викидів.

#### **2. Лакофарбові дільниці**

- високі концентрації ЛОС;-
- формальдегід - основний ризиковий компонент.

#### **3. Участки механічної обробки (шліфування)**

- найбільше джерело пилу PM10 і PM2.5;-
- неорганізовані викиди важко контролювати.

#### **4. Склад відходів деревини**

- постійне джерело пилу при вітряній погоді.

#### **4. Оцінка відповідності нормам**

##### **Позитивні аспекти:**

- Викиди CO - у межах допустимого рівня.-
- Організовані джерела обладнані фільтрами або циклонами.

##### **Проблемні аспекти:**

- Потенційне перевищення ГДК пилу на межі СЗЗ.-
- Високий ризик перевищення ГДК для формальдегіду та ЛОС.-
- Значне навантаження NO<sub>x</sub> від теплогенераторів.-
- Недостатній контроль неорганізованих джерел.

### **Висновок з розділу:**

1. Підприємство має декілька джерел із потенційним перевищенням нормативів, найбільш критичні з них - сушильні камери, лакофарбові дільниці та шліфувальні станки.

2. Найбільший екологічний ризик становлять пил PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> та формальдегід.

3. Рекомендовані пріоритетні напрями екологічного контролю:- • модернізація теплогенераторів;- • встановлення додаткових фільтрів на ЛФМ-ділянці;- • облаштування укриттів для складу тирси;- • поліпшення аспірації і герметизації обладнання.

4. За умови впровадження відповідних заходів підприємство може досягти відповідності нормам без суттєвого зниження продуктивності.

## **Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо зниження викидів та підвищення екологічної безпеки**

### **4.1. Технологічні заходи щодо мінімізації викидів**

Зниження викидів та підвищення екологічної безпеки на підприємстві можливі насамперед через удосконалення технологічних процесів і модернізацію обладнання. Оскільки основні забруднювачі формуються на етапах сушіння, механічної обробки та нанесення покриттів, технологічні заходи мають бути спрямовані на підвищення ефективності очищення газопилових потоків, зменшення формування пилу та летких органічних сполук, а також на покращення енергоефективності.

Нижче наведено комплекс технологічних рішень, які можуть забезпечити істотне зниження викидів.

#### **1. Модернізація теплогенераторів сушильних камер**

##### **Проблема:**

Сушильні камери формують до 70% організованих викидів CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> і частково ЛОС.

##### **Технологічні заходи:**

- встановлення пальників із низьким рівнем утворення NO<sub>x</sub> (low-NO<sub>x</sub> burners);-
- автоматизація процесу горіння для забезпечення оптимального співвідношення паливо/повітря;-
- заміна застарілих теплогенераторів на енергоефективні моделі;-
- використання теплоутилізаторів для підігріву повітря на вході.

##### **Очікуваний ефект:**

- зниження NO<sub>x</sub> на 20–40%;-
- зменшення CO на 10–15%;-
- стабілізація температурних режимів → менше ЛОС від термічного розкладу деревини.

## **2. Удосконалення систем аспірації на ділянках розкрою та шліфування**

**Проблема:** Неорганізовані пилові викиди становлять майже 50% загальних пилових втрат.

**Технологічні заходи:**

- встановлення високоефективних рукавних фільтрів (99% ефективності);
- модернізація циклонних установок до мультициклонів;
- ущільнення аспіраційних мереж для усунення втрат повітря;
- оснащення шліфувальних верстатів локальними відсмоктувачами;
- підвищення швидкості повітря у повітропроводах до нормативного значення.

**Очікуваний ефект:**

- зменшення пилових викидів на 60–80%;
- покращення умов праці у цеху;
- можливість повторного використання зібраного пилю як палива.

## **3. Зниження ЛОС та формальдегіду на клеєвих і лакофарбових дільницях**

**Проблема:** Формальдегід та ЛОС значно перевищують нормативи у сирих викидах.

**Технологічні заходи:**

- встановлення вугільних фільтрів або адсорберів із активованим вугіллям;
- застосування лаків і клеїв з низьким вмістом формальдегіду (класи E0–E1);
- герметизація робочих камер та зон полімеризації;
- впровадження електростатичних розпилювачів, що зменшують розбризкування;
- використання замкнутих камер для нанесення покриттів.

**Очікуваний ефект:**

- зниження ЛОС на 40–60%;
- зменшення формальдегіду на 50–70%;
- значне покращення якості повітря у виробничих приміщеннях.

## **4. Оптимізація процесу зберігання деревних відходів**

**Проблема:** Відкриті склади формують пилові викиди, які залежать від вітрових умов.

**Технологічні заходи:**

- облаштування закритих навісів для тирси та тріски;-
- ущільнення майданчиків, зрошення поверхні у суху погоду;-
- використання бункерів або силосів замість відкритих куп;-
- механізація навантаження для зменшення розсипання.

**Очікуваний ефект:**

- зниження пилу на 30–50%;-
- усунення впливу вітру на пилові потоки;-
- зменшення неорганізованих джерел.

**5. Екологічно безпечна робота пересувної техніки**

**Технологічні заходи:**

- заміна дизельних навантажувачів на електричні;-
- використання палива підвищеної якості;-
- регулярне технічне обслуговування для зменшення CO і NO<sub>x</sub>;-
- оптимізація маршрутів руху на території підприємства.

**Очікуваний ефект:**

- зниження CO і NO<sub>x</sub> на 30–50%;-
- усунення ризику локального задимлення на території.

**6. Герметизація і теплоізоляція сушильних камер**

**Проблема:**

Нещільності призводять до втрат тепла і неконтрольованих викидів.

**Заходи:**

- заміна ущільнювачів;-
- встановлення термостійких дверних прокладок;-
- теплоізоляція корпусів камер;-
- регулярна перевірка стану обладнання.

**Ефект:**

- зниження енерговитрат на 10–15%;-
- усунення 5–10% нерегульованих викидів ЛОС.

## **7. Встановлення систем рекуперації тепла та замкненого повітрообміну**

Сучасні сушильні комплекси дозволяють:

- зменшувати обсяги гарячого повітря, що викидається;-
- повторно використовувати тепло;-
- знижувати обсяги забруднень.

Ефект:-

- до -20% викидів CO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub>;
- покращення стабільності процесу сушіння.

### **Таким чином:**

1. Найефективнішими технологічними заходами є модернізація теплогенераторів та систем аспірації, оскільки саме ці джерела формують основні обсяги викидів.-

2. Застосування сучасних лакофарбових матеріалів і фільтраційних систем дозволяє суттєво знизити концентрації ЛОС і формальдегіду.-

3. Впорядкування складу деревних відходів є важливим кроком для зменшення неорганізованих пилових потоків.-

4. Комплексне впровадження запропонованих рішень здатне зменшити загальний рівень забруднення атмосферного повітря підприємства на **40–60%**, що значно підвищить екологічну безпеку та відповідність нормативам.

## **4.2. Системи очищення газових потоків і їх ефективність**

Ефективне очищення газових потоків є ключовим елементом зниження викидів на промислових підприємствах, зокрема на деревообробних. Саме вибір оптимальної системи газоочищення визначає, наскільки суттєво підприємство зможе зменшити викиди пилу, летких

органічних сполук (ЛОС), продуктів згоряння та інших забруднювачів.- Для підприємства актуальним є застосування комбінованих систем очищення, оскільки різні технологічні процеси формують забруднювачі різного фізико-хімічного складу.

Нижче наведено ключові системи газоочищення, принципи їх роботи та реальну ефективність для підприємств деревообробної галузі.

## **1. Системи очищення пилових газових потоків**

### **1.1. Циклонні пиловловлювачі**

Циклони - найпоширеніший тип газоочистки для деревообробних підприємств.

#### **Принцип роботи:**

В основі роботи циклона лежить відцентрова сила, яка відділяє тверді частинки від газового потоку.

#### **Переваги:**

• проста конструкція;- • низькі експлуатаційні витрати;- • стійкість до високих температур.

#### **Недоліки:**

• низька ефективність для дрібнодисперсного пилу (PM10, PM2.5).

#### **Ефективність:**

• для частинок >50 мкм - 85–95%;- • для частинок 10–50 мкм - 50–70%;- • для частинок <10 мкм - 20–40%.

Для підприємства:- зменшує пилові викиди на ~40–50%, але не вирішує проблему дрібного пилу.

### **1.2. Мультициклонні установки**

Це удосконалений варіант циклонів з набором малих циклонних елементів.

#### **Ефективність:**

- 90–96% для частинок >10 мкм;-
- 60–80% для дрібних частинок.

**Переваги:**

- значно вищий рівень очищення;-
- можливість роботи з великими обсягами пилу;-
- компактність конструкції.

Для підприємства:- зменшує загальний пил на 65–75%, є оптимальним рішенням першого ступеня очистки.

**1.3. Рукавні фільтри (baghouse filters) – найефективніші для деревообробних виробництв**

**Принцип роботи:**

Газ проходить через тканинні фільтрувальні рукави, на яких осідає пил.

**Ефективність:**

- 95–99,9% для будь-яких фракцій;-
- здатні вловлювати PM2.5 та PM1.0.

**Переваги:**

- майже повне очищення повітря;-
- стабільна робота при великих навантаженнях;-
- безпечність у роботі.

**Недоліки:**

- висока вартість;
- потреба регулярної регенерації фільтрувальних рукавів.

Для підприємства:

- може знизити пилові викиди до нормативного рівня (на 90–95%), особливо на ділянці шліфування.

**2. Системи очищення газових потоків від ЛОС та формальдегіду**

**2.1. Адсорбційні системи з активованим вугіллям**

**Принцип роботи:**

ЛОС поглинаються пористими матеріалами (активоване вугілля, цеоліти).

**Ефективність:**

- 60–95% залежно від концентрації;-
- для формальдегіду - 40–70%.

**Переваги:**

- підходять для лакофарбових діляниць;-
- прості в експлуатації.

**Недоліки:**

- необхідність регенерації або заміни сорбенту;-
- неефективні при високих температурах.

Для підприємства:- зменшення ЛОС на **50–60%**, формальдегіду - на 40–55%.

## **2.2. Каталітичні окислювачі (RCO – Regenerative Catalytic Oxidizers)**

**Принцип:**

ЛОС окислюються до CO<sub>2</sub> та води при низьких температурах (220–350 °C) завдяки каталізаторам.

**Ефективність:**

- 95–99% для більшості ЛОС;-
- 80–90% для формальдегіду.

**Переваги:**

- дуже висока ефективність;-
- низька витрата енергії.

**Недоліки:**

- висока вартість;-
- чутливість каталізаторів до пилу.

Для даного підприємства підходить, якщо об'єднати кілька вентиляційних каналів у єдину лінію очистки.

## **2.3. Термальні окислювачі (RTO – Regenerative Thermal Oxidizers)**

**Принцип:**

ЛОС згоряють при температурі 750–850 °C.

**Ефективність:**

- 98–99,9%.

**Недоліки:**

- велика витрата енергії;- • значні капітальні інвестиції.

Для підприємств із тривалим циклом лакування - найефективніше рішення.

**3. Системи очищення продуктів згорання****3.1. Скрубери (мокрі газоочисники)**

Підходять для SO<sub>2</sub>, HCl, частково для пилу.

**Ефективність:**

- 80–95% для SO<sub>2</sub>;- • 60–80% для пилу.

Недоліки: утворення стічних вод.

**3.2. Селективне некаталітичне відновлення (SNCR) для зниження**

NO<sub>x</sub>

**Ефективність:**

- зниження NO<sub>x</sub> на 30–60%.

**3.3. Селективне каталізаторне відновлення (SCR)****Ефективність:**

- 70–90% зменшення NO<sub>x</sub>.

**Недоліки:**

- дороговартісна технологія;- • потребує високої чистоти газів (рукавний фільтр перед SCR).

#### 4. Порівняльна таблиця ефективності систем очищення

Система	Тип забруднювача	Ефективність	Доцільність для підприємства
Циклон	пил >50 мкм	50–90%	помірна
Мультициклон	пил >10 мкм	65–96%	висока
Рукавний фільтр	пил будь-якої фракції	95–99,9%	<b>дуже висока</b>
Вугільний адсорбер	ЛОС, формальдегід	50–95%	висока
Каталітичний окислювач	ЛОС	95–99%	дуже висока
RTO	ЛОС	98–99,9%	середня (дорога)
Скрубер	SO <sub>2</sub> , частково пил	80–95%	середня
SCR	NO <sub>x</sub>	70–90%	низька (дорога)

#### 5. Узагальнення ефективності для підприємства

Для підприємства оптимальною є комбінована система:

**Пил:**

- мультициклон + рукавний фільтр → до **97–99% очищення**.

**ЛОС і формальдегід:**

- адсорбційний фільтр або каталітичний окислювач → **60–99%**

**очищення.**

**NO<sub>x</sub>, CO:**

- модернізація теплогенераторів + SNCR → **30–50% зниження NO<sub>x</sub>**, 10–15% CO.

### **Висновки до підрозділу**

1. Найефективнішими системами очищення для деревообробних підприємств є **рукавні фільтри**, які забезпечують майже повне вловлювання пилю.

2. Для лакофарбових дільниць найбільш дієвими є **адсорбційні та каталітичні системи очищення ЛОС**.

3. Для зниження NO<sub>x</sub> та CO необхідна модернізація теплогенераторів і впровадження систем допалювання.

4. Комбіноване застосування технологій може забезпечити загальне зниження викидів підприємства на **50–70%**, що дозволить досягти відповідності нормативам і підвищити екологічну безпеку.

### **4.3. Організаційні та управлінські заходи з екологічного контролю**

Ефективне зменшення викидів на промислових підприємствах неможливе без створення дієвої системи організаційно-управлінського екологічного контролю. Для підприємства впровадження таких заходів є важливою умовою не лише дотримання законодавства, а й підвищення конкурентоспроможності, зниження екологічних ризиків та покращення репутації підприємства.

Управлінські рішення повинні забезпечувати системний підхід до моніторингу, аналізу, регулювання та попередження викидів забруднювачів. Нижче наведено комплекс організаційних заходів, які можуть бути впроваджені на підприємстві.

#### **1. Впровадження системи екологічного менеджменту (CEM) ISO 14001**

**Основні елементи:**

- формування екологічної політики підприємства;-
- визначення ключових екологічних аспектів і ризиків;-
- встановлення цілей і показників щодо зменшення викидів;-
- регулярний моніторинг і аудит;-
- коригувальні дії у разі відхилень.

#### **Очікуваний ефект:**

- систематичний контроль впливу на довкілля;-
- підвищення відповідальності персоналу;-
- відповідність міжнародним стандартам.

### **2. Регулярний екологічний моніторинг викидів**

Потрібно створити програму планового контролю, що включає:

- щоквартальні інструментальні вимірювання організованих джерел;-
- сезонне вимірювання неорганізованих джерел;-
- аналіз фонових концентрацій у межах санітарно-захисної зони;-
- ведення журналів обліку викидів;-
- калібрування та обслуговування вимірювальної апаратури.

**Переваги:-**

- своєчасне виявлення перевищень;-
- можливість коригування роботи обладнання;-
- формування достовірної екологічної звітності.

### **3. Запровадження внутрішніх екологічних інструкцій і стандартів**

Для зменшення неорганізованих викидів та покращення культури виробництва необхідно:

- розробити інструкції щодо поводження з пилом, ЛОС та клеями;-
- встановити внутрішні ліміти на використання лакофарбових матеріалів;-
- змінити вимоги до очищення обладнання та робочих зон;-
- ввести правила щодо транспортування відходів і роботи техніки.

Це дозволяє усунути до 10–20% вторинних викидів.

### **4. Навчання та підготовка персоналу**

Ефективність природоохоронних заходів залежить від того, наскільки персонал розуміє екологічні ризики.

### **Можливі напрями навчання:**

- правила роботи з ЛОС та клеями;-
- правила експлуатації аспіраційних систем;-
- правильне поводження з пилом;-
- дії у випадку аварійних викидів;-
- ведення екологічної документації.

Регулярне навчання знижує ризики аварій на 30–50%.

### **5. Встановлення системи внутрішніх аудитів та контролю енерговитрат**

Внутрішній аудит включає:

- перевірку роботи газоочисного обладнання;-
- контроль герметизації сушильних камер;-
- аналіз споживання теплової енергії;-
- аудит роботи вентиляторів та фільтрів;-
- перевірку заповненості силосів та стану аспірації.

Це дозволяє запобігти появі прихованих та аварійних джерел викидів.

### **6. Формування екологічної звітності та взаємодія з контролюючими органами**

Підприємство повинно:

- своєчасно подавати звіти за формою №2-ТП (повітря);-
- декларувати обсяги утворення відходів;-
- отримувати дозволи на викиди та своєчасно їх поновлювати;-
- проводити лабораторні дослідження відповідно до вимог МОЗ та Міндовкілля.

Переваги:-

- прозорість екологічної діяльності;-
- мінімізація штрафів і ризику зупинки виробництва;-
- можливість участі у програмах екологічної модернізації.

### **7. План аварійного реагування та управління екологічними ризиками**

Необхідно розробити і впровадити:

- процедури реагування на аварійні викиди;-
- алгоритми локалізації витоків ЛОС і формальдегіду;-
- правила екстреного відключення

обладнання;- • механізми попередження аварій через перенавантаження аспірації або силосів.

Це дозволяє значно зменшити ризики непередбачуваних забруднень.

## **8. Оптимізація логістики на території підприємства**

Для зменшення викидів пересувної техніки:

• встановити односторонні маршрути руху;- • оптимізувати відстані транспортування;- • заохочувати перехід на електротранспорт;- • запровадити контроль холостого ходу техніки.

Ефект: зменшення  $\text{NO}_x$  та CO на 15–30%.

## **9. Розвиток культури екологічної відповідальності**

Керівництво має формувати корпоративну культуру, в якій екологічна безпека є частиною щоденної роботи.

Це може включати:- • екологічні дні;- • внутрішні конкурси;- • кампанії зі збору відходів;- • інформаційні стенди;- • стимули для працівників за дотримання норм.

### **Висновки до підрозділу**

1. Організаційні та управлінські заходи є ключовим інструментом стабільного зниження викидів і попередження екологічних ризиків.

2. Впровадження системи екологічного менеджменту ISO 14001 дозволить підприємству перейти від реактивної до превентивної моделі управління.

3. Регулярний моніторинг і внутрішні аудити забезпечують своєчасне виявлення проблем і контроль відповідності нормативам.

4. Навчання персоналу та створення екологічної культури є критичними для сталого екологічного розвитку підприємства.

5. Застосування комплексу організаційних заходів може забезпечити додаткове зниження викидів на 15–25%, підсилюючи ефект від технологічних рішень.

#### **4.4. Перспективи впровадження найкращих доступних технологій (НДТМ / Best Available Techniques)**

Перехід промислових підприємств України, зокрема деревообробних, до найкращих доступних технологій (НДТМ / BAT), є одним із ключових напрямів екологічної модернізації, який відповідає вимогам Угоди про асоціацію з ЄС та концепції сталого розвитку.- Для підприємства впровадження НДТМ є не лише шляхом до зменшення викидів, а й важливим кроком до підвищення енергоефективності, оптимізації виробництва та покращення конкурентних позицій на європейському ринку.

Нижче наведено основні перспективи, можливості та переваги впровадження BAT для підприємства.

##### **1. Гармонізація з вимогами ЄС та адаптація до BREF-документів**

BAT у Європейському Союзі визначаються у спеціальних галузевих довідниках BREF (Best Available Techniques Reference Documents).- Для деревообробної галузі релевантними є BREF для:

- обробки деревини;-
- виробництва панелей;-
- лакофарбових матеріалів;-
- спалювання біомаси;-
- очищення газових потоків.

Перехід до BAT дозволяє підприємству:

- дотримуватися європейських екологічних норм;-
- спростити експортні процедури;-
- знизити ризики санкцій після повного вступу України до ЄС.

##### **2. Підвищення ефективності газоочистки відповідно до BAT**

BAT пропонують використання високоефективних систем очищення, які значно перевищують традиційні установки за продуктивністю.

### **Ключові ВАТ-рішення:**

- рукавні фільтри з ефективністю 99–99,9%;
- каталітичні системи окиснення ЛОС;
- мокрі скрубери для SO<sub>2</sub> та важких фракцій;
- регенеративні термічні окислювачі (RTO);
- фільтри з наноструктурованими мембранами (перспективні рішення).

### **Потенційний ефект:**

- пил → до 0,5–2 мг/м<sup>3</sup> після очищення;
- ЛОС → 95–99% видалення;
- NO<sub>x</sub> → зниження на 40–80% залежно від SNCR/SCR.

### **3. Інновації у сушінні деревини згідно з ВАТ**

На основі BREF для деревообробної промисловості рекомендується:

- застосування сушильних камер з рекуперацією тепла;
- використання електричних або теплових насосів для сушіння;
- автоматизований контроль процесу з AI-регулюванням температури та вологості;
- спалювання біомаси з низькими викидами.

### **Очікуваний результат:**

- зниження енергоспоживання на 20–40%;
- зменшення обсягів викидів CO<sub>2</sub> та продуктів неповного згоряння.

### **4. ВАТ у сфері лакофарбових матеріалів та клеїв**

Сучасні ВАТ-технології передбачають:

- застосування водорозчинних ЛФМ;
- використання полімерів із мінімальним вмістом формальдегіду (E0, E1);
- системи локального допалювання ЛОС;
- повну герметизацію технологічних зон.

### **Ефект:**

- зниження формальдегіду на 70–90%;
- зменшення витрат розчинників на 25–40%.

### **5. Оптимізація управління пилом - ВАТ-рішення**

ВАТ рекомендує впровадження:

- повністю герметизованих аспіраційних систем;-
- використання високошвидкісних повітропроводів;-
- циклонів як першої стадії та рукавних фільтрів - як другої;-
- підлогових вакуумних систем для зменшення вторинного пилу.

Це дозволяє досягти рівнів пилу в робочій зоні  $<1 \text{ мг/м}^3$ .

## **6. Перспективи автоматизації та цифровізації**

ВАТ приділяє особливу увагу цифровим системам контролю:

- автоматизм віддаленого моніторингу концентрацій;-
- датчики критичних параметрів ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , формальдегід);-
- системи раннього попередження про забруднення;-
- моделі прогнозування розсіювання.

Для підприємства це означає:

- стабільність роботи;
- уникнення аварійних ситуацій;
- підвищення якості екологічної звітності.

## **7. Економічні та екологічні перспективи впровадження НДТМ**

### **Економічні вигоди:**

- зменшення витрат на штрафи;-
- підвищення енергоефективності → економія 10–25%;-
- покращення продуктивності сушіння та лакофарбових процесів;-
- довший строк служби обладнання.

### **Екологічні вигоди:**

- відповідність нормам ЄС;-
- істотне зниження негативного впливу на довкілля;-
- підвищення безпеки для населення та працівників.

## **8. Ймовірні перешкоди та шляхи їх подолання**

### **Основні стримуючі фактори:**

- висока вартість ВАТ-обладнання;-
- потреба в навчанні персоналу;-
- необхідність модернізації інфраструктури.

### **Шляхи подолання:**

- поетапне впровадження ВАТ (1–3 роки);-
- залучення інвестицій через «зелені» кредити та гранти;-
- участь у міжнародних програмах екомодернізації.

### **Висновки:**

1. Впровадження ВАТ є стратегічно важливим для екологічного розвитку виробництва та інтеграції у європейський простір.

2. Найбільший потенціал зниження викидів дають ВАТ-рішення у сферах газоочищення, сушіння деревини та лакофарбових процесів.

3. Комбіноване застосування ВАТ може знизити загальні викиди підприємства на **60–80%**, що суттєво перевищує можливості традиційних технологій.

4. Перехід до ВАТ відкриває перспективи участі у міжнародних програмах, залучення інвестицій та розширення ринків збуту.

5. Впровадження ВАТ є не лише екологічною, але й економічною потребою для сучасних деревообробних підприємств.

### **4.5. Оцінка екологічного та соціального ефекту запропонованих заходів**

Запропоновані технологічні, організаційні та управлінські заходи спрямовані не лише на зниження рівня викидів, а й на комплексне покращення екологічної безпеки, якості життя населення та умов праці працівників. Оцінка екологічного та соціального ефекту є важливим етапом, що дозволяє підтвердити доцільність впровадження рішень та визначити їх вплив у короткостроковій і довгостроковій перспективі.

#### **1. Екологічний ефект запропонованих заходів**

##### **1.1. Зниження загальних викидів забруднювачів**

Після впровадження технологічних і організаційних рішень очікується:

- зменшення пилових викидів на 60–90%, особливо після встановлення рукавних фільтрів;-
- скорочення викидів ЛОС на 40–80%, завдяки адсорбційним системам та застосуванню малотоксичних матеріалів;-
- зниження викидів формальдегіду на 50–70%, що є критично важливим з огляду на його канцерогенність;-
- зменшення NO<sub>x</sub> на 30–50% через модернізацію теплогенераторів;-
- зменшення СО на 10–20%.

Загальний інтегральний екологічний ефект - **зниження сумарного навантаження на атмосферу на 50–70%.**

### **1.2. Покращення якості атмосферного повітря в межах СЗЗ**

У межах санітарно-захисної зони підприємства прогнозується:

- зменшення фонових концентрацій пилу до показників нижче ГДК;-
- стабілізація рівня ЛОС і відсутність ризику їх накопичення;-
- зниження кількості епізодів неприємних запахів;-
- зменшення ймовірності перевищення концентрацій формальдегіду.

Це особливо важливо з огляду на близькість житлової забудови (~350–400 м).

### **1.3. Запобігання аварійним викидам**

Завдяки герметизації обладнання, модернізації аспіраційних систем та впровадженню планів аварійного реагування:

- ризик аварійних залпових викидів зменшується у 2–3 рази;-
- знижується імовірність переповнення циклону або виходу з ладу фільтру;-
- зменшується навантаження на довкілля у періоди пікових навантажень.

### **1.4. Енергетичний ефект**

Використання рекуперації тепла в сушильних камерах та оптимізація теплогенераторів дають:

- економію енергії на 15–25%;
- зниження викидів CO<sub>2</sub> як супутній ефект енергоефективності;
- зменшення витрат на обслуговування обладнання.

## **2. Соціальний ефект впровадження заходів**

### **2.1. Покращення умов праці на підприємстві**

Введення сучасних систем очищення та герметизації виробничого обладнання призводить до:

- значного зниження концентрацій пилу у робочих зонах (у 3–10 разів);
- зменшення впливу ЛОС на робітників;
- покращення мікроклімату виробничих приміщень;
- зниження рівня захворюваності дихальних шляхів;
- підвищення продуктивності праці персоналу.

### **2.2. Зниження негативного впливу на населення прилеглих територій**

Жителі найближчих населених пунктів отримають:

- чистіше атмосферне повітря;
- менше подразнюючих запахів від ЛОС;
- зниження ризиків респіраторних захворювань;
- кращі умови для проживання і ведення господарства.

Зниження пилових потоків також позитивно впливає на ґрунти, рослинність та сільськогосподарські угіддя.

### **2.3. Підвищення соціальної відповідальності та іміджу підприємства**

Екологічна модернізація сприятиме:

- формуванню позитивного іміджу відповідального виробника;
- зміцненню довіри місцевої громади;
- підвищенню ваги підприємства у переговорах із партнерами;
- спрощенню виходу на європейські ринки.

## **2.4. Підвищення рівня екологічної культури персоналу**

Систематичне навчання та впровадження екологічного менеджменту сприятимуть:

- відповідальному ставленню до природних ресурсів;-
- зменшенню випадків необережного поводження з матеріалами;-
- усвідомленню ризиків від технологічних процесів;-
- формуванню корпоративної екологічної етики.

## **3. Загальний інтегральний ефект**

Після впровадження комплексу запропонованих заходів очікується:

### **Екологічний ефект:**

- зниження загальних викидів на 50–70%;-
- відповідність нормативам України та наближення до стандартів ЄС;-
- мінімізація ризику перевищення ГДК поблизу житлової забудови.

### **Соціальний ефект:**

- покращення здоров'я та умов праці робітників;-
- зменшення скарг населення на забруднення повітря;-
- підвищення інвестиційної та експортної привабливості підприємства.

## **Висновки до підрозділу**

1. Запропоновані заходи мають виражений позитивний вплив як на стан довкілля, так і на соціальну сферу.

2. Екологічні результати включають істотне зниження викидів ключових забруднювачів, модернізацію технологій та покращення якості повітря.

3. Соціальні переваги охоплюють покращення умов праці, підвищення рівня екологічної безпеки населення та зміцнення репутації підприємства.

4. Комплексне впровадження заходів робить діяльність підприємства більш сталою, безпечною та конкурентоспроможною.

## **Розділ 5. Охорона праці**

### **Організація безпечного нанесення лакофарбових матеріалів**

Оскільки на виробництві планується розширення в напрямку можливості опорядження виробів з деревини – розробимо пропозиції щодо безпеки діляниці опорядження

В даний час на меблевих підприємствах застосовують різні способи нанесення лакофарбових матеріалів на поверхні меблевих щитів та інших заготовок, зокрема: розпилення; в електричному полі струменів високої напруги; лаконалив; занурення. Спосіб нанесення лакофарбових матеріалів в основному залежить від конструкції меблевих виробів, марки ЛФМ, виду технологічного обладнання тощо. Порівнюючи дані способи нанесення лакофарбових матеріалів на деталі з позиції кількості виділення летких токсичних речовин у повітря робочої зони, приходимо до висновку, що найбільш трудомістким і шкідливим є пневматичне розпилення ЛФМ. Цей спосіб фактично відноситься до ручного лакопокриття.

Для розпилювання ЛФМ використовують стиснуте повітря, яке подається у пістолет-розпилювач під тиском 0.3...0.5 МПа. Лак (фарба) подається до розпилювача під тиском 0.02...0.15 МПа. Зустрічаючи на своєму шляху сильний повітряний потік, лак розпилюється форсункою пістолета і лягає на опоряджувальну поверхню у вигляді найдрібніших крапель, які, розпилюючись, утворюють суцільне покриття.

При роботі на пневматичних установках необхідно регулярно слідкувати за справністю припливної та витяжної вентиляції. Тиск у ресивері компресора не повинен перевищувати 0,5 МПа, у відокремлювачі вологи та масла – 0,4 МПа, в лаконагнітачі – 0,15...0,2 МПа. Разом з цим необхідно регулярно перевіряти закріплення кришки лаконагнітача, продувати повітрям і промивати розчинником пістолет і шланги, що підводять лаки (фарби).

Пістолет, лаконагнітач, витяжну систему вентиляції та повітропровід обов'язково заземляють.

З метою запобігання проникнення у повітря робочої зони шкідливих і вибухонебезпечних парів летких речовин і виникнення аварійних ситуацій при пневматичному розпилюванні лаків (фарб) необхідно :

- розпилювати лаки й фарби тільки в закритих або напівзакритих камерах;
- швидко й повністю вилучати лакову й фарбову мряку із зони її утворення;
- очищати повітря від шкідливих і вибухонебезпечних парів, що знаходяться в зоні лакування;
- обладнати камери розпилювання і вентиляційні системи обмежувальними та вогнеперепонними пристроями;
- обладнати камери автоматично-блокувальними пристроями, які б забезпечували припинення подавання лаку чи фарби при зупинці роботи вентиляційної установки;
- регулярно очищати кабінки, повітроходи, фільтри застосувавши для цього інструменту із кольорового метала;
- застосовувати камери та інше обладнання із негорючих матеріалів.

Найбільш прийнятними для пневматичного розпилювання в даний час є напівзакриті камери з робочими отворами, які оснащені витяжними вентиляційними установками, заблокованими з системою подавання лаку (фарби).

Надійне та безпечне очищення повітря від лакового порошу досягається в камерах з гідрофільтрами, що мають дві водяні завіси, які створюються форсунками діаметром не менше 4 мм при тиску 25...30мм.вод.ст. (рис. 4.3).

Для того щоб не утворювалась шкідлива і вибухонебезпечна суміш в камерах, потрібно мати таку вентиляційну систему, яка забезпечувала б швидкість руху повітря через робочі отвори кабін в сторону витягування, більшу, ніж швидкість дифузії розчинників і розріджувачів в сторону цеху.

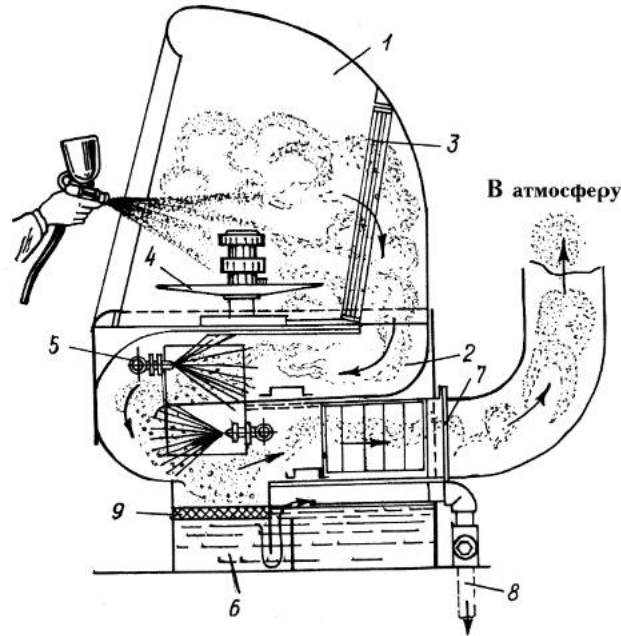


Рис.5.3.. Камера з гідрофільтрами для нанесення лаку пневматичним розпилюванням: 1 - корпус; 2 - коробка гідрофільтра; 3 - лаковловлювальна решітка; 4 - поворотний стіл; 5 - водорозпилювальні форсунки; 6-водяна пастка; 7 - водовідокремлювач; 8- зливна труба ; 9 - відстій лаку (фарби) .

Повітрообмін у камері, що забезпечить нормальні та безпечні умови роботи, визначають за формулою:

$$Q_k = 3600 \cdot F \cdot v_o \cdot \alpha, \quad (5.1)$$

де  $Q_k$ - кількість повітря, що пропускається через кабінку,  $m^3/год$ ;  $F$ - поперечний перетин отворів камери,  $m^2$ ;  $v_o$ - швидкість руху повітря в отворі камери, що поступає в кабінку,  $m/с$ ;  $\alpha$ - коефіцієнт, що враховує підсмоктування

повітря через нещільності кабіни (для розрахунків приймають рівними 1,1...1,2).

При визначенні повітрообміну за формулою (6.8) , необхідно мати на увазі, що швидкість дифузії парів більшості розчинників не перевищує 0,1 м/с. Крім цього, при подаванні лаку через розпилювачі необхідно враховувати відбиття струменя з повітрям від лакованої поверхні. При цьому швидкість відбитого струменя лаку біля лакованого виробу, як підтверджують дослідження, складає 0,7...0,8 м/с. Виходячи з цього, для запобігання проникнення шкідливих і вибухонебезпечних парів розчинників із камер у приміщення цеху, при розрахунку необхідно приймати швидкість руху повітря у відкритому отворі камери в сторону вентилятора не нижче 1,0 м/с. При використанні лакофарбових матеріалів, що вміщують свинцеві сполуки, ароматичні вуглеводні та інші токсичні леткі речовини, розрахункову швидкість повітря ( $V_0$ ) необхідно приймати не менше 1,3 м/с.

Об'єм вентиляційного повітря на робочих місцях необхідно приймати із розрахунку 1400 м<sup>3</sup> повітря за 1 годину на 1м<sup>2</sup> площі горизонтальної проекції меблевого виробу з врахуванням робочої площі шириною 1 м навколо виробу.

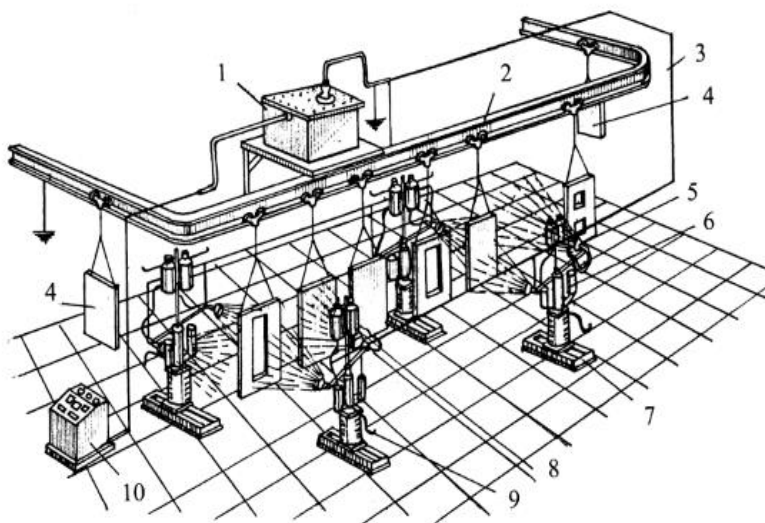
У випадку несправності вентиляційної установки камери, необхідно якомога швидше припинити лакування, повідомити про аварійний стан майстра або начальника цеху.

Після закінчення роботи необхідно спустити із ресивера через спускний кран воду, масло та бруд. Відходи лаків, фарб, використані тампони, ганчірки змочені лакофарбовими матеріалами, складають у металеві ящики зі щільно закритими кришками, які виносять із цеху у спеціально відведені місця.

**Нанесення ЛФМ в електричному полі струменів високої напруги –** досить поширений спосіб опорядження меблів. Характерною особливістю даного способу з позиції санітарно-гігієнічних умов є те, що при даному способі не витрачається велика кількість ЛФМ на утворення лакової чи фарбової мряки, як це відбувається при пневматичному розпилюванні, зменшується загазованість повітря робочої зони.

Сутність цього способу нанесення ЛФМ полягає в наступному. Якщо простір між двома електродами, до яких підведена висока електронапруга, ввести струмінь розпиленого лаку, то під дією електричного поля його частини електризуються і притягуються до позитивно зарядженого виробу. Частини лаку (фарби), попавши в електричне поле, притягуються до виробу рівним тонким шаром з мінімальними втратами.

Схема лакування меблевих виробів в електростатичному полі наведені на рис. 5.4.



**Рис.5.4. Схема лакування дерев'яних виробів в електростатичному полі:**  
1- високовольтний трансформатор і випрямлювач струму (подається напруга 130 кВ ); 2- підвісний конвеєр; 3- високовольтна мережа; 4 - вироби;5 - чашкові розпилювачі; 6 - пневматичні циліндри; 7 - ізолятори стійки

чашкових розпилювачів; 8 - бачки для лаку (фарби); 9 - шланги для подання стиснутого повітря; 10 - пульт керування.

Кращим опоряджувальним матеріалом для електростатичного нанесення є лак МЧ-52 тому, що розчинники цього лаку не утворюють вибухонебезпечних повітряних сумішей.

При лакуванні деталей в електростатичному полі можливі непередбачені аварійні ситуації за причини несправності витяжної вентиляції, утворення вибухонебезпечної суміші, короткого замикання, виникнення електричної іскри від електростатичних розрядів, порушення режимів лакування тощо.

Для забезпечення безпечної роботи при лакуванні меблевих деталей в електростатичному полі необхідно передбачити наступні заходи:

- камери для лакування обладнують витяжною вентиляцією, яка забезпечує відсмоктування повітря через перфоровані повітропроводи, розміщені в чотирьох кутах камери;
- розрахунковий об'єм відсмоктувального повітря визначають за швидкістю його руху у відкритих отворах, що приймається в межах 0,4...0,5 м/с і перевіряється на розведення парів розчинників, які виділились, до безпечної концентрації; швидкість руху вентилязованого повітря з kabіни і безпосередньо із зони розпилювання лакофарбових матеріалів в сторону витягування приймають 0,2...0,5 м/с;
- лакувальну камеру обладнують автоматичним пристроєм, що підтримує встановлений режим подачі лаку ( фарби ) в залежності від ефективності роботи вентиляції й стану електрообладнання
- для попередження виникнення іскрового розряду в камері передбачають відстань між розпилювальним кінцем

- шланга автоматичного розряджувача та високовольтною шиною значно меншою ніж між розпилювачем і деталлю (виробом); при цьому іскровий розряд виникатиме за межами лакувальної камери;
- для автоматичного вимкнення лакувальної камери, у випадку раптового збільшення сили струму в робочій мережі, в пульті керування камерою передбачають максимальне реле;
  - для обмеження величини сили струму при короткому замиканні або іскровому розряді у високовольтній мережі передбачають обмежувальний опір;
  - електрообладнання в лакувальних камерах повинне мати захисні пристрої, до яких відносять автоматичні розряджувачі, попереджувальні світлофори, запобіжники від іскроутворювання;
  - камери для лакування в електростатичному полі обладнують блокувальною системою, яка:
  - забезпечує подачу звукового сигналу протягом 10...15сек. до пуску конвеєра;
  - запобігає ввімкненню високої напруги при вимкненій місцевій витяжній вентиляції;
  - запобігає ввімкненню системи розпилювання при вимкненій місцевій витяжній вентиляції.

Перед подаванням високої напруги в лакувальну камеру автоматично подаються попереджувальні сигнали:

“ Висока напруга”, “Ввімкнено”, “Не входити”.

Пульт керування лакувальною камерою розташовують на відстані не менше 2,5м від розпилювачів.

Нанесення ЛФМ на поверхні меблевих щитів способом наливу є одним із найпоширенішим способів на сучасних меблевих підприємствах. Він

здійснюється на лаконаливних машинах, які забезпечують високу якість лаконаливних покриттів. Але поряд з позитивними сторонами лаконаливу, даний спосіб має ряд суттєвих недоліків з точки зору безпеки праці. У повітря робочої зони інтенсивно випаровуються леткі компоненти з нітроцелюлозних і поліефірних лаків.

Інтенсивність випаровування летких компонентів з лаків при їх наливі на поверхні меблевих щитів може бути визначена за  $J$  - інтенсивністю випаровування,  $\text{г/м}^2\cdot\text{год.}$ ;  $k$  - показником леткості,  $\text{г/м}^2\cdot\text{год.}$ ;  $e$  – числом  $\cong 2,72$ ;  $t$  - часом витримування деталей після лаконаливу,  $\text{год.}$ ;  $\mu_0$  - початковим вмістом леткого компонента в лаці,  $\text{г/м}^2$ .

Для розроблення заходів щодо покращення санітарно-гігієнічних умов в опоряджувальних цехах необхідно знати масу летких речовин, що виділяються з лаків і потрапляють у повітря робочої зони.

Спосіб нанесення лаку струменевим обливанням найчастіше використовують для лакування точених дерев'яних деталей і виробів з криволінійними і фігурними поверхнями. Струменеве обливання з наступним витримуванням у парах розчинників полягає в тому, що деталь (виріб) обливають лаком і направляють у камеру або тунель, у повітрі яких знаходиться визначена кількість парів розчинника. Тут лишок лаку стікає, а решта його рівномірно покриває поверхню деталі.

Цей спосіб лакування має наступні переваги порівняно з іншими способами, а саме:

- значно скорочується витрата лаку ;
- створюється можливість конвеєрної подачі деталей і виробів у камери, тунелі та сушарні;
- створюються сприятливі умови для впровадження засобів автоматизації і забезпечення пожежної безпеки процесу лакування;

- зменшується маса лаку що знаходиться в системі в 10 разів, порівняно з лакуванням способом занурення; зменшується можливість виникнення великих пожеж.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження джерел викидів промислового підприємства в атмосферне повітря, здійснено їх інвентаризацію, оцінку екологічних ризиків та розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу виробництва на довкілля на прикладі підприємстві.

Отримані результати дають можливість сформулювати цілісне бачення сучасних викликів деревообробної галузі у сфері екологічної безпеки та окреслити шляхи їх вирішення.

### **1. Теоретичні результати дослідження**

1. Проаналізовано основні типи організованих і неорганізованих джерел викидів деревообробних підприємств, визначено їх фізичні та токсикологічні характеристики.-

2. Узагальнено механізми поширення промислових забруднювачів в атмосфері, фактори їх трансформації та впливу на довкілля і здоров'я населення.-

3. Оцінено нормативно-правову базу України та ЄС щодо регулювання промислових викидів, встановлено напрямки гармонізації та ключові відмінності.-

4. Визначено методи вимірювання та розрахунку викидів, окреслено їх переваги та обмеження при застосуванні на реальних виробництвах.

### **2. Практичні результати та інвентаризація джерел викидів**

1. Проведено детальну інвентаризацію організованих і неорганізованих джерел викидів підприємстві, ідентифіковано критичні процеси: сушіння деревини, механічна обробка, лакофарбові операції та складування відходів.

2. Виконано інструментальні вимірювання концентрацій забруднювачів (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, пил, ЛОС, формальдегід), а також розрахунок неорганізованих викидів.-

3. Сформовано підсумковий баланс викидів, який показав, що найбільший внесок у забруднення дають теплогенератори сушильних камер (до 70% організованих викидів) та пилові джерела шліфування.

### **3. Аналіз екологічних ризиків та відповідності нормативам**

1. Проведений аналіз засвідчив потенційні ризики перевищення нормативів для пилу, NO<sub>x</sub>, формальдегіду та ЛОС у межах санітарно-захисної зони.-

2. Визначено основні небезпечні компоненти - дрібнодисперсний пил PM10/PM2.5 та канцерогенний формальдегід.-

3. Встановлено, що без модернізації підприємство має ризики впливу на якість атмосферного повітря прилеглих поселень та робочу зону.

### **4. Розробка рекомендацій щодо зменшення викидів**

1. Запропоновано комплекс технологічних заходів: модернізація теплогенераторів, встановлення рукавних фільтрів, герметизація сушильних камер, модернізація вентиляційних систем ЛФМ-ділянок, оптимізація складування відходів.-

2. Розроблено організаційно-управлінські рішення: впровадження ISO 14001, внутрішніх екологічних стандартів, програм навчання персоналу, регулярних аудитів і моніторингу.-

3. Проаналізовано перспективи застосування найкращих доступних технологій (НДТМ/ВАТ), здатних знизити загальні викиди на 60–80%.

### **5. Екологічний та соціальний ефект запропонованих заходів**

1. Реалізація комплексу рішень дозволить зменшити пилові викиди на 60–90%, ЛОС - на 40–80%, формальдегід - на 50–70%, NO<sub>x</sub> - на 30–50%.

2. Очікується покращення якості атмосферного повітря в межах СЗЗ, зменшення ризиків для здоров'я населення та працівників.

3. Впровадження екологічних технологій сприятиме підвищенню соціальної довіри до підприємства, зменшенню скарг громади та підвищенню інвестиційної привабливості.

**6. Загальні підсумки роботи-**Проведене дослідження демонструє, що:

- комплексна ідентифікація джерел викидів є основою для ефективної екологічної політики підприємства;-
- поєднання технологічних та управлінських заходів дозволяє досягнути суттєвого зниження забруднення атмосфери;-
- перехід до найкращих доступних технологій є стратегічно важливим для довгострокового розвитку деревообробних підприємств України;-
- впровадження запропонованих рішень дає змогу істотно покращити екологічний стан території, підвищити рівень безпеки виробництва та забезпечити відповідність нормам України та ЄС.

Результати роботи можуть бути використані для подальшої екологічної модернізації виробництва, підготовки екологічних звітів, планування інвестицій у газоочистку та розробки стратегій сталого розвитку підприємства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 р.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р.
3. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 р.
4. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць.
5. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління.
6. ДСТУ 8725:2017. Охорона довкілля. Вимірювання викидів забруднювальних речовин. Загальні вимоги.
7. ДСТУ EN 13284-1:2016. Визначення масової концентрації пилу у викидах.
8. Методика проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами. - Міндовкілля України, 2021.
9. Наказ Мінприроди України № 309 «Про затвердження Інструкції щодо змісту та порядку складання звіту з інвентаризації викидів».
10. Наказ МОЗ України № 52 «Про затвердження гранично допустимих концентрацій забруднювачів атмосферного повітря».
11. Баб'як М. Т., Гнатів Х. Б. Оцінювання впливу деревообробних підприємств на стан атмосферного повітря. - Львів: НУЛП, 2020.
12. Петренко О. М. Деревообробне виробництво та його екологічні аспекти. - Київ: КНУТД, 2019.
13. Мельник Р. С. Технології очищення газових потоків на промислових підприємствах. - Тернопіль: ТНТУ, 2018.
14. Хом'як Л. М. Екологічні ризики деревообробних підприємств та методи їх зниження. - Львів: ЛНАУ, 2021.

- 15.Самочко О. В., Бойко С. О. Системи аспірації та пиловловлювання у деревообробній галузі. - Харків: ХНУМГ, 2022.
- 16.Паламарчук В. М. Охорона атмосферного повітря: навчальний посібник. - Київ: КНЕУ, 2017.
- 17.Кравчук Т. Р., Мірошніченко Л. М. Моніторинг промислових викидів і їх вплив на якість повітря. - Дніпро: ДНУ, 2019.
- 18.Гаврилюк В. І. Теплотехнічні процеси сушіння деревини та їх екологічні аспекти. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020.
- 19.European Commission. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Wood-Based Panels.** - Luxembourg: Publications Office of the EU, 2015.
- 20.European Commission. **Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (IED).**
- 21.European Environment Agency (EEA). **Air Quality in Europe - 2022 Report.**
- 22.US EPA. **AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors**, Volume 1: Stationary Sources.
- 23.WHO Air Quality Guidelines. Global Update 2021.
- 24.BREF. **Best Available Techniques for Large Combustion Plants.** - European IPPC Bureau, 2017.
- 25.UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP).