

Згідно з формою  
№16.01  
Наказ Міністерства освіти і науки,  
молоді та спорту  
України  
29 березня 2012  
року №384

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ,  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ

Кафедра технології захисту навколишнього середовища і деревини та  
безпеки життєдіяльності

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи бакалавра на тему:

**«Оптимізація технологічних процесів виробництва  
деревинностружкових плит з метою зниження викидів  
формальдегіду»**

(«Optimization of technological processes for the production of  
particleboard to reduce formaldehyde emissions»)

Студента групи ТЗНС-41

Спеціальність 183

«Технології захисту  
навколишнього середовища»

Терентьєва Софія Василівна

Керівник: Сомар Г.В.

Рецензент: *Доц. Терентьєва С.В.*

Львів - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут  
Кафедра

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

Рівень вищої освіти

бакалавр  
Спеціальність 183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНС ДБЖД

проф. Кшивецький Б. Я.

“15” 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ  
**Терентьєвій Софії Василівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Оптимізація технологічних процесів виробництва деревинностружкових плит з метою зниження викидів формальдегіду»  
(«Optimization of technological processes for the production of particleboard to reduce formaldehyde emissions»)

керівник роботи Соляр Галина, канд. техн. наук, доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)

затверджені наказом по університету від “14” лютого 2025 року № С-91

2. Строк подання студентом роботи до 15 травня 2025

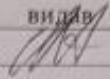
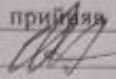
3. Вихідні дані до роботи Проектом передбачити використання сучасних технологій захисту навколишнього середовища, способів та методів захисту від забруднень повітря та виробничих стічних вод. Максимальну увагу приділити питанням комплексної переробки відходів та мінімізації негативного впливу виробництва на довкілля

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


1. Загальний розділ;
2. Проектно-технологічний розділ;
3. Охорона праці;
4. Висновки.

5. Графічний матеріал (15-20 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

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

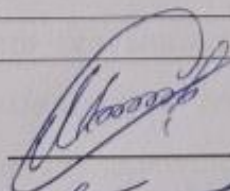
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 14 лютого 2025 року

Керівник проекту  доц. Сомар Г.В.

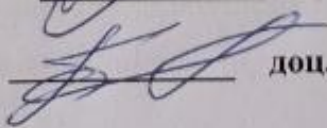
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загальний розділ	до 25.03.25	
2.	Проектно-технологічний розділ	до 10.04.25	
3.	Охорона праці	до 30.04.25	
4.	Оформлення бакалаврської роботи	до 15.05.25	

Студент

 Терентьєва С.В.

Керівник проекту

 доц. Сомар Г.В. .

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:  
«Оптимізація технологічних процесів виробництва деревинностружкових плит з метою зниження викидів формальдегіду»

Бакалаврська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі подано загальну характеристику виробництва деревинностружкових плит. У другому розділі проаналізовано джерела викидів формальдегіду та оцінено їх вплив на довкілля. У третьому розділі запропоновано шляхи оптимізації технологічного процесу з метою зменшення шкідливих викидів.

У бакалаврській роботі «Оптимізація технологічних процесів виробництва деревинностружкових плит із зазначенням зниження викидів формальдегіду» розглядається актуальна проблема екологічної безпеки деревообробної промисловості — зменшення шкідливих викидів формальдегіду, що виникають під час виробництва деревинностружкових плит (ДСП). У роботі проаналізовано технологічний процес виготовлення ДСП, визначено основні джерела викидів формальдегіду та оцінено їх вплив на довкілля і здоров'я людини.

Запропоновано інженерно-технічні рішення для оптимізації виробництва, зокрема підбору менш токсичних смол, модифікації рецептури клею, оптимізації режимів пресування та удосконалення систем вентиляції та фільтрації повітря. Практичні рекомендації спрямовані на впровадження сучасних екологічних стандартів без зниження якості продукції. Робота містить аналіз нормативних вимог, опис технологічних етапів, а також приклади впровадження інноваційних підходів на підприємствах. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення екологічної безпеки та ефективності виробництва ДСП.

# **ЗМІСТ**

## **Вступ**

## **Розділ 1. Загальна характеристика виробництва деревинностружкових плит**

- 1.1. Основні види деревинностружкових плит та їх застосування
- 1.2. Загальна технологічна схема виробництва ДСП
- 1.3. Характеристика основних стадій технологічного процесу
- 1.4. Використання формальдегідних смол: склад, властивості, токсичність
- 1.5 Висновки до розділу 1

## **Розділ 2. Джерела і обсяги викидів формальдегіду на підприємстві**

- 2.1. Визначення основних джерел викидів формальдегіду в технологічному циклі
- 2.2. Нормативи допустимих викидів формальдегіду
- 2.3. Вплив формальдегіду на довкілля і здоров'я людини
- 2.4. Аналіз існуючих методів контролю викидів
- 2.5 Висновки до розділу 2

## **Розділ 3. Технічні рішення щодо зменшення викидів формальдегіду**

- 3.1. Підбір менш токсичних смол та модифікація рецептури клею
- 3.2. Оптимізація режимів пресування (температура, тиск, тривалість)

3.3. Технічне удосконалення вентиляції та фільтрації повітря

3.4. Приклади впровадження технологічних рішень на українських або європейських підприємствах

3.5 Висновки до розділу 3

## **ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **Загальні висновки**

### **Список використаних джерел**

### **Додатки**

## ВСТУП

### Актуальність теми

У сучасних умовах розвитку деревообробної промисловості одним із пріоритетних напрямів є не лише підвищення ефективності виробництва, а й мінімізація його негативного впливу на навколишнє середовище. Особливої уваги заслуговує проблема викидів формальдегіду, який є побічним продуктом виробництва деревинностружкових плит (ДСП) і має високу токсичність для людини та природи.

Формальдегід входить до складу синтетичних смол, що використовуються як зв'язуючі матеріали в процесі виробництва плит. Під час гарячого пресування, зберігання готової продукції, а також під час експлуатації ДСП у житлових і громадських приміщеннях відбувається поступове виділення формальдегіду в повітря. Тому зниження його викидів є актуальним не лише з екологічної, а й з санітарно-гігієнічної точки зору.

Враховуючи сучасні європейські екологічні стандарти, зокрема вимоги директив ЄС та національні нормативи, підприємства з виробництва ДСП повинні активно впроваджувати нові технологічні рішення, що дозволяють зменшити шкідливі викиди, не знижуючи при цьому якості продукції. Це створює потребу у розробці інженерних рішень для оптимізації технологічного процесу.

Мета роботи — розробити інженерно-технічні рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу виробництва деревинностружкових плит з метою зменшення викидів формальдегіду.

### Основні завдання дослідження:

Проаналізувати технологічний процес виробництва ДСП та визначити основні джерела викидів формальдегіду.

Оцінити вплив технологічних параметрів (температура, тиск, рецептура клею) на рівень викидів.

Дослідити існуючі інженерні рішення, що сприяють зниженню виділення формальдегіду

Запропонувати оптимізаційні заходи, орієнтовані на модернізацію процесу з урахуванням екологічних вимог.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження — процес виробництва деревинностружкових плит на підприємстві деревообробної промисловості.

Предмет дослідження — технологічні параметри та конструктивні елементи виробничого процесу, які впливають на обсяг викидів формальдегіду.

Методи дослідження

У роботі використано такі методи дослідження:

аналітичний метод — для аналізу літературних джерел і нормативної документації щодо шкідливих викидів;

порівняльний метод — для оцінки ефективності різних технічних рішень;

інженерно-екологічний аналіз — для оцінки впливу технологічних параметрів на утворення викидів;

графоаналітичний метод — для побудови схем та діаграм, що відображають залежності викидів від параметрів процесу.

# **Розділ 1. Загальна характеристика виробництва деревинностружкових плит**

## **1.1. Основні види деревинностружкових плит та їх застосування**

Деревинностружкові плити (ДСП) є одним із найпоширеніших матеріалів у деревообробній промисловості завдяки своїй доступності, технологічності й широким можливостям використання. За своїми властивостями та призначенням вони класифікуються на кілька основних типів.

### **Основні види деревинностружкових плит:**

- 1. Звичайні (невологостійкі) ДСП** Ці плити виготовляються без спеціальних добавок для підвищення вологостійкості, використовуються переважно в сухих умовах. **Застосування:** меблеве виробництво (каркаси, корпуси шаф, полиці), будівництво внутрішніх перегородок.
- 2. Вологостійкі ДСП** Плити, в які додаються спеціальні клеї або просочення для підвищення стійкості до вологи. Застосовуються для виготовлення меблів для ванних кімнат, кухонь, будівельних елементів в умовах підвищеної вологості.
- 3. Ламіновані деревинностружкові плити (ЛДСП)** Плити, покриті спеціальною декоративною ламінованою плівкою або папером, просоченим смолами. Застосовуються для виготовлення меблевих фасадів, стільниць, декоративних панелей, підлогового покриття.
- 4. Шліфовані ДСП** Плити, які після виробництва проходять додаткове шліфування для досягнення гладкої поверхні. Застосовуються як

основа під оздоблювальні матеріали (шпон, ламінати), виготовлення високоякісних меблів.

5. **Орієнтовано-стружкові плити (OSB)** Спеціальний різновид плит, у яких стружка орієнтована у визначених напрямках для підвищення міцності. Застосовуються для: будівництво (стіни, перекриття, покрівлі), каркасне будівництво, транспортна тара.
  
6. **Екологічні ДСП (низькоемісійні E0, E1)** Плити із зниженим вмістом формальдегіду відповідно до європейських стандартів. З них виготовляють дитячі меблі, житлові приміщення, вироби для медичних і навчальних закладів.

**Таблиця 1. Основні види деревинностружкових плит та сфери їх застосування**

<b>Вид плити</b>	<b>Основні властивості</b>	<b>Застосування</b>
Звичайні ДСП	Низька вологостійкість	Меблі для сухих приміщень
Вологостійкі ДСП	Підвищена стійкість до вологи	Кухні, ванні кімнати
Ламіновані ДСП (ЛДСП)	Декоративність, зносостійкість	Меблі, оздоблення інтер'єрів
Шліфовані ДСП	Гладка поверхня	Під покриття, облицювання
Орієнтовано-стружкові плити (OSB)	Висока міцність, стійкість до навантажень	Будівництво каркасів, перекриттів
Екологічні ДСП (Е0, Е1)	Низький вміст формальдегіду	Дитячі меблі, житлові приміщення

Таким чином:

Вибір виду ДСП залежить від умов експлуатації, вимог до міцності, вологостійкості та екологічної безпеки.

У виробництві сучасних плит все більше уваги приділяється зниженню емісії формальдегіду та використанню екологічно безпечних матеріалів.

## 1.2. Загальна технологічна схема виробництва деревинностружкових плит

Виробництво деревинностружкових плит (ДСП) включає послідовність стадій, що спрямовані на перетворення низькосортної деревини, обрізків, технологічної тріски та інших залишків деревообробки у готові конструкційні плити. Процес є багатоступеневим і потребує чіткої організації для забезпечення високої якості продукції та мінімізації шкідливих викидів.

Основні етапи технологічного процесу виробництва ДСП:

Підготовка сировини:

Приймання і сортування деревної сировини.

Дроблення деревини на тріску.

Сушіння тріски до оптимальної вологості (3–5%).

Подрібнення тріски в стружку:

Використання стружкових машин для отримання дрібної фракції, придатної для формування плит.

Клеювання стружки:

Додавання до стружки синтетичних смол на основі формальдегіду (карбамідоформальдегідних, меламіноформальдегідних або фенолформальдегідних).

Однорідне перемішування стружки з клеєм та додатковими компонентами (затверджувачами, гідрофобізаторами).

Формування килима:

Укладання склеєної стружки на конвеєрі у вигляді багатошарового "килима".

Попереднє ущільнення для фіксації шару.

Гарячий пресинг:

Пресування килима у багатоповерхових гарячих пресах.

Використання високої температури (до 180–220°C) і тиску для затвердіння клею та формування плити.

Охолодження та кондиціювання:

Зниження температури плит до кімнатної

Стабілізація властивостей матеріалу.

Обрізка та шліфування:

Обрізання плит за розмірами.

Шліфування поверхні для надання гладкості.

Сортування та складування:

Перевірка якості плит.

Пакування і відправка на склад або безпосередньо споживачеві.

Схема 1.1 – Загальна технологічна схема виробництва ДСП

Приймання деревини → Дроблення → Сушіння → Подрібнення → Клеювання → Формування килима → Гарячий пресинг → Охолодження → Обрізка → Шліфування → Сортування → Складування

### **1.3. Характеристика основних стадій технологічного процесу**

Технологічний процес виробництва деревинностружкових плит (ДСП) включає декілька ключових стадій, кожна з яких визначає якість кінцевого продукту, рівень шкідливих викидів і економічну ефективність виробництва.

Підготовка сировини. На цьому етапі здійснюється приймання деревної сировини низькосортної деревини, обрізків, технологічної тріски. Сировина очищується від сторонніх домішок (металів, каміння), після чого проходить первинне подрібнення на тріску у дробарках.

Сушіння тріски. Сушіння здійснюється у барабанних або аеродинамічних сушарках гарячим повітрям до вологості 3–5%.

Особливості: Надлишкова волога призводить до дефектів плит і підвищення викидів формальдегіду.

Надто суха стружка може негативно впливати на якість пресування.

Подрібнення тріски в стружку

Тріска подрібнюється на стружку необхідного розміру для подальшого формування плит. Важливо забезпечити: Однорідність розміру часток. Відсутність великої кількості пилу, який негативно впливає на якість склеювання.

Клеювання стружки. На цьому етапі стружка обробляється синтетичними смолами (найчастіше карбамідоформальдегідними), а також додаються гідрофобізатори, каталізатори, антисептики. Ключові завдання:

Рівномірне нанесення клею на поверхню стружки.

Мінімізація надлишкового використання клею для зниження витрат і викидів формальдегіду.

Формування килима

Склеєна стружка укладається на транспортері багат шаровим килимом.

Особливості формування:

Шари мають різну орієнтацію стружки для підвищення міцності плит (зовнішні — поздовжня орієнтація, середні — хаотична).

Необхідна попередня компресія для забезпечення рівномірної структури.

Гарячий пресинг

Килим надходить до багатповерхового гарячого преса, де відбувається:

Формування остаточної товщини плити.

Полімеризація смол під дією високої температури (180–220°C) і тиску.

Важливо контролювати температуру і час пресування, щоб зменшити залишкові викиди формальдегіду.

## Охолодження плит

Після пресування плити охолоджуються до температури навколишнього середовища. Швидке і правильне охолодження стабілізує фізико-механічні властивості виробу.

Плити можуть ламінувати, покривати декоративним папером або шпоном.

Можливе розкроювання плит на потрібні розміри.

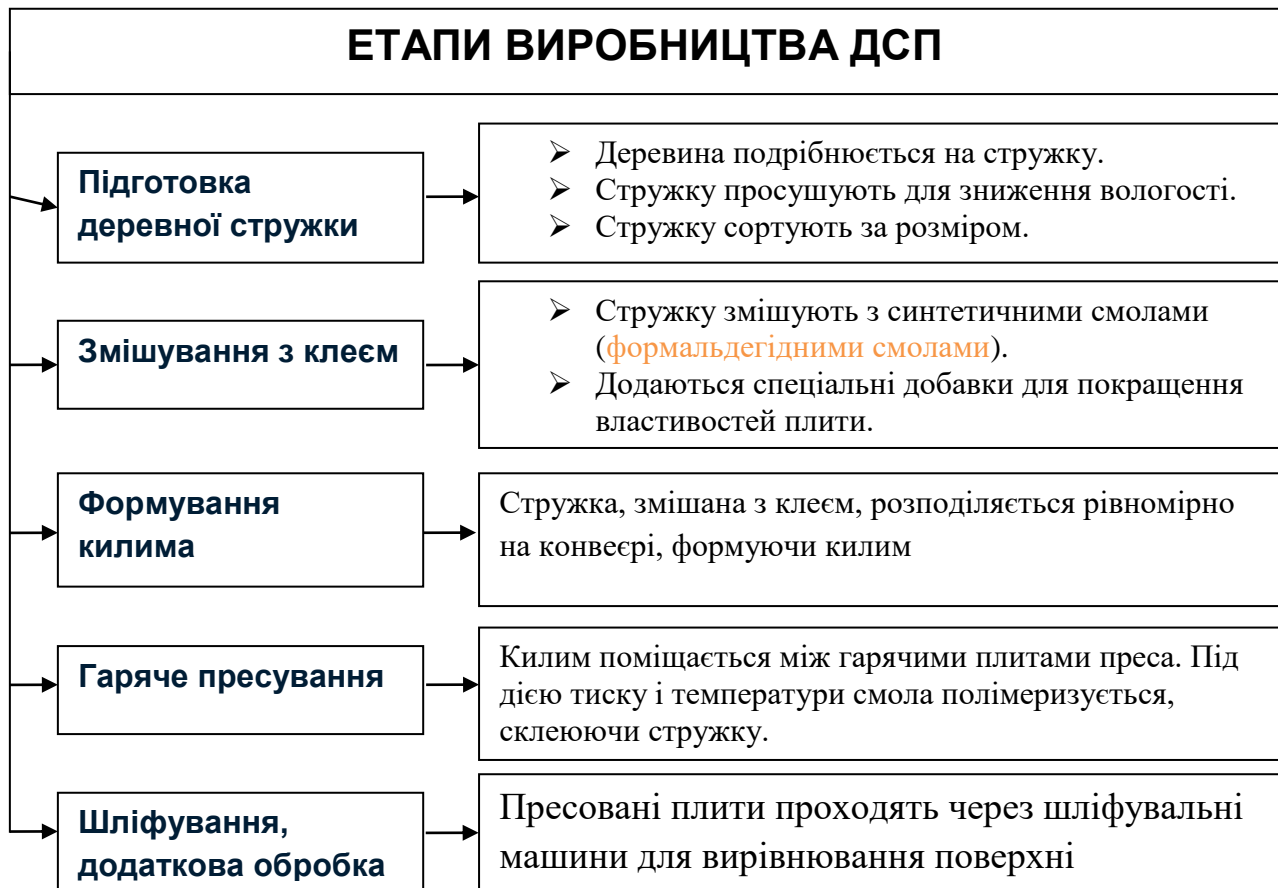


Рис.1 Узагальнена схема процесу виготовлення ДСП

## 1.4. Використання формальдегідних смол: склад, властивості, токсичність

Формальдегідні смоли є основним видом клеючих речовин у виробництві деревинностружкових плит (ДСП). Їх використання обумовлено високою реакційною здатністю формальдегіду, що забезпечує хорошу адгезію, високу міцність плит і порівняно низьку собівартість виробництва.

Найбільш поширені типи формальдегідних смол у виробництві ДСП:

➤ **Карбамідоформальдегідні смоли (КФС)** — найдешевші, забезпечують хороші фізико-механічні властивості, але мають високий рівень емісії формальдегіду.

➤ **Меламіноформальдегідні смоли (МФС)** — мають підвищену водостійкість і нижчий рівень виділення формальдегіду.

➤ **Фенолформальдегідні смоли (ФФС)** — відрізняються найкращою стійкістю до вологи і температури, але мають темний колір і вищу вартість.

Основні компоненти формальдегідних смол:

➤ **Формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ )** — активний компонент, що полімеризується з іншими речовинами.

➤ **Карбамід, меламін або фенол** — основи для формування полімерної сітки.

➤ **Каталізатори, стабілізатори, пластифікатори** — допоміжні речовини для регулювання процесу полімеризації та кінцевих властивостей клею.

Властивості формальдегідних смол:

➤ Висока адгезійна здатність.

➤ Швидка полімеризація під дією температури і тиску.

- Висока механічна міцність плит.
- Різна ступінь водостійкості залежно від типу смоли.

Токсичність формальдегіду: Формальдегід є речовиною першого класу небезпеки. Його шкідливий вплив проявляється навіть при невеликих концентраціях (від 0,05 мг/м<sup>3</sup> у повітрі):

- Подразнення слизових оболонок очей, носа і горла.
- Викликання алергічних реакцій та астматичних симптомів.
- Потенційний канцерогенний ефект (офіційно класифікований як канцероген для людини).

Найбільш інтенсивне виділення формальдегіду відбувається:

- Під час гарячого пресування плит.
- У процесі зберігання та експлуатації готової продукції, особливо при підвищеній температурі і вологості.

У зв'язку з високою токсичністю формальдегіду у багатьох країнах (наприклад, в ЄС) встановлені жорсткі обмеження на емісію формальдегіду з ДСП (клас емісії E0, E1, E2).

## 1.5. Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено огляд основних аспектів виробництва деревинностружкових плит (ДСП). Встановлено, що ДСП є важливим матеріалом для меблевої, будівельної та інших галузей завдяки своїй доступності, технологічності та широким можливостям застосування.

Проаналізовано технологічну схему виробництва, яка включає такі ключові стадії: підготовка сировини, сушіння, нанесення клею, формування килима, гаряче пресування, обробка плит та їх сортування. Особливу увагу приділено стадіям, де активно використовуються формальдегідні смоли.

Розглянуто склад і властивості основних видів смол (карбамідоформальдегідних, меламіноформальдегідних та фенолформальдегідних), які визначають фізико-механічні характеристики плит, а також рівень токсичності кінцевої продукції через емісію формальдегіду.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що для оптимізації виробничого процесу та зниження рівня шкідливих викидів необхідно:

- раціонально підбирати тип смоли залежно від вимог до готового продукту;
- удосконалювати технологічні режими виготовлення плит;
- враховувати екологічні аспекти ще на етапі проєктування виробничого процесу.

Отримані результати створюють основу для подальшого аналізу джерел викидів формальдегіду та розробки заходів для їх мінімізації.

## **Розділ 2. Джерела і обсяги викидів формальдегіду на підприємстві**

### **2.1. Визначення основних джерел викидів формальдегіду в технологічному циклі**

Формальдегід є одним із основних шкідливих речовин, що виділяються під час виробництва деревинностружкових плит. Його викиди виникають на різних етапах технологічного процесу та можуть суттєво впливати на екологічну безпеку підприємства.

#### **Основні джерела викидів формальдегіду:**

– **Сушіння стружки.** На стадії сушіння сирової стружки в сушильних барабанах під дією високих температур (від 140 до 200 °С) відбувається не лише випаровування вологи, але й часткова термічна деструкція деревини та смол, що супроводжується виділенням формальдегіду в повітря.

– **Нанесення клею на стружку.** Під час процесу змішування стружки з формальдегідними смолами відбувається часткове виділення летких компонентів клею, зокрема в місцях недостатньої герметизації обладнання або при тривалому зберіганні готової суміші.

– **Формування килима і холодне пресування.** На цій стадії невеликі обсяги формальдегіду можуть вивільнитися через слабе хімічне з'єднання смоли з деревиною до моменту остаточного затвердіння.

– **Гаряче пресування.** Гаряче пресування є одним з найбільш інтенсивних джерел викидів формальдегіду. Під впливом високої температури (160–220 °С) полімеризація смол супроводжується викидом залишкового формальдегіду у виробничі приміщення.

– **Охолодження і обробка плит.** Після пресування плити продовжують виділяти формальдегід у процесі охолодження та механічної обробки (обрізання, шліфування), особливо за недостатньої вентиляції.

– **Склад готової продукції.** Навіть після виготовлення плити залишаються джерелом низькорівневого постійного виділення формальдегіду, що може накопичуватися в закритих приміщеннях.

**Фактори, що впливають на обсяг викидів:**

- температура технологічних процесів;
- якість та тип використаної смоли;
- ефективність вентиляційних і фільтраційних систем;
- умови зберігання і обробки плит.

Розуміння локалізації основних джерел емісії формальдегіду дозволяє цілеспрямовано вдосконалювати технологічні процеси для їх оптимізації та мінімізації шкідливих викидів.

## **2.2. Нормативи допустимих викидів формальдегіду**

У процесі виробництва деревинностружкових плит важливим завданням є дотримання нормативів, що регулюють рівень викидів формальдегіду у повітря робочої зони та атмосферу. Ці нормативи встановлюються державними і міжнародними стандартами з метою захисту здоров'я працівників і навколишнього середовища.

**Основні нормативні документи:**

- ДСН 3.3.6.042-99 "Державні санітарні норми виробничого мікроклімату України";
- ГДК формальдегіду в повітрі робочої зони — 0,5 мг/м<sup>3</sup> (середньозмінна концентрація);

- ГДК формальдегіду в атмосферному повітрі населених пунктів — 0,035 мг/м<sup>3</sup> (середньодобова концентрація);
- Європейські стандарти (EN 717-1, EN 120) — для класифікації плит за рівнем емісії (класи E0, E1, E2).

**Таблиця 2. Класифікація деревинностружкових плит за емісією формальдегіду**

Клас емісії	Вміст формальдегіду	Примітка
E0	≤ 0,5 мг/л	Практично без викидів, найсуворіший стандарт
E1	≤ 1,5 мг/л	Дозволено для використання в житлових приміщеннях
E2	≤ 5,0 мг/л	Обмежено для застосування в житлових приміщеннях

В Україні орієнтуються переважно на європейський клас **E1** для плит, які використовуються у внутрішніх оздоблювальних роботах.

При експорті деревинностружкових плит на ринки ЄС, підприємства повинні обов'язково забезпечувати відповідність стандартам **EN 13986** та підтвердження через маркування CE.

Відповідальність за перевищення нормативів полягає в тому, що підприємства зобов'язані регулярно проводити вимірювання рівнів формальдегіду. У випадку перевищення нормативних показників передбачено штрафи, обмеження діяльності або обов'язкове впровадження заходів з модернізації виробництва.

Дотримання нормативних обмежень викидів формальдегіду є не лише вимогою законодавства, але й важливою умовою підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародному ринку.

### **Розрахунок гранично допустимих викидів формальдегіду та інших шкідливих викидів в атмосферу від виробництва ДСП**

На виробництвах ДСП часто спостерігаються викиди шкідливих газів в атмосферу у вигляді нагрітих і холодних газоповітряних сумішей. Нагріті газоповітряні суміші, як правило, викидаються з теплоелектростанцій, котельних установок, де відбувається спалювання палива, а також із приміщень, де експлуатуються гарячі преси та ін. Холодні газоповітряні суміші викидаються в атмосферу переважно з приміщень цехів ДСП.

Для проектування нових та реконструкції існуючих витяжних установок, а також для забезпечення необхідного ступеня чистоти атмосферного повітря важливе місце відводиться розрахунку допустимих викидів шкідливих газів в атмосферу.

Значення гранично допустимих викидів (г/с) для нагрітих і холодних газоповітряних сумішей з одиночного (точкового) джерела з круглим отвором, або групи таких близько розташованих одиночних джерел, можна визначити за формулами [1]:

а) для гарячої пароповітряної суміші:

$$ГДВ_r = \frac{(ГДК - C_\phi) \cdot H^2 \cdot \sqrt{V_1 \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}, \quad (1)$$

б) для холодної газоповітряної суміші:

$$ГДВ_x = \frac{(ГДК - C_\phi) \cdot H^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot V_2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}, \quad (2)$$

де  $ГДВ_г$ ,  $ГДВ_х$  – гранично допустимі викиди шкідливих газів в атмосферу у вигляді гарячих і холодних газоповітряних сумішей, г/с;

$ГДК$  – гранично допустимі концентрації шкідливих газів в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>, вибирають за Санітарними нормами;

$C_ф$  – фонові концентрації шкідливого газу в атмосфері, мг/м<sup>3</sup>, вибирають із СН;

$H$  – висота джерела викиду над рівнем землі, м;

$V_1$  – об'ємна швидкість газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с;

$V_2$  – швидкість виходу газоповітряної суміші із отвору джерела викиду (витяжної труби), м/с.

Об'ємну швидкість газоповітряної суміші, визначають за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3)$$

Швидкість виходу газоповітряної суміші визначають за формулою:

$$V_2 = 1,3 \frac{D \omega_0}{H}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр отвору джерела викиду (витяжної труби), м;  $\omega_0$  – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с;  $\Delta T$  – різниця між температурою газоповітряної суміші  $T_г$ , що викидається, та температурою повітря навколишнього середовища  $T_п$ , °С;  $A$  – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери і визначає умови горизонтального розсіювання атмосферних домішок,  $C^{\frac{2}{3}} \cdot C$ ;  $F$  – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;  $\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості на розсіювання шкідливих газів в атмосфері.

Порядок визначення безрозмірних коефіцієнтів та інших параметрів наступний.

1) Коефіцієнт А вибирають для несприятливих метеорологічних умов, при яких концентрація шкідливих речовин в атмосфері від джерела викиду сягають максимальних значень;

2) Значення  $V_1, V_2$  розраховують відповідно за формулами (3) і (4);

3) Значення  $\Delta T, ^\circ\text{C}$  визначають, прийнявши температуру повітря  $T_{\text{п}}$ , рівною середній температурі о 13 годині найбільш спекотного місяця року  $\Delta T = 273 - T_{\text{п}}$ ;

4) Для котелень, що працюють за опалювальним графіком, допускається приймати значення  $T_{\text{п}}$ , рівним середній температурі повітря за найбільш холодний період;

5) Значення безрозмірного коефіцієнта F приймають: для газоподібних шкідливих речовин і дрібнодисперсних аерозолів, швидкість осідання яких для найбільш крупних фракцій яких не перевищує 3...5 см/с -  $F = 1,0$ ; для крупнодисперсного пилу (сажі) та зоні впливу при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення: не менше 90 % -  $F = 2,0$ ; 75...90 % -  $F = 2,5$ ; менше 75 % або при відсутності очищення -  $F = 3,0$ ;

6) Значення безрозмірного коефіцієнта m визначають залежно від параметра f,  $\text{м}^{-2}\cdot^\circ\text{C}$  за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (5)$$

Параметр f, визначають за формулою:

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2}{H^2 \Delta T}, \quad (6)$$

7) Значення безрозмірного коефіцієнта n вибирають залежно від параметра P: якщо  $P \leq 0,3$ , то  $n = 3,0$ ; якщо  $0,3 \leq P \leq 2$ , то:

$$n = 3 - \sqrt{(P - 0,3)/(4,36 - P)}, \quad (7)$$

Якщо  $P > 2$ , то  $n = 1,0$ .

При цьому параметр P визначають за формулою [1]:

$$P = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}, \quad (8)$$

8) Безрозмірний коефіцієнт  $\eta = 1,0$  при умові, якщо в радіусі 5 висот витяжної труби від джерела перепад відміток місцевості не перевищує 50 м на 1 км. В інших випадках поправку на рельєф установлюють на підставі картографічного матеріалу, що враховує рельєф місцевості в радіусі 50 висот витяжних труб від джерела, але не менше 2 км.

Якщо в районі розташування джерела викидів є окремі ізольовані перепони, витягнені в одному напрямку (пасма, гребені, балки, виступи), то коефіцієнт  $\eta$  розраховують за формулою [1]:

$$\eta = 1 + \varphi_1 \left[ \frac{(x_0)}{a_0} \right] \cdot (\eta_T - 1), \quad (9)$$

де  $\eta_T$  – коефіцієнт, що визначають за табл. 1 залежно від форми рельєфу, поперечні перетини яких наведені на рис. 1, а також від безрозмірних величин  $n_1 = \frac{H}{h_0}$  і  $n_2 = \frac{a_0}{h_0}$ , де  $n_1$  визначають з точністю до

десятих, а  $n_2$  – з точністю до цілих величин. Значення функції  $\varphi_1 \left[ \frac{(x_0)}{a_0} \right]$

визначають за графіком (рис. 1).

Таблиця 3 Значення  $\eta_T$  залежно від коефіцієнтів  $n_1$   $n_2$

$n_1$	$n_2$								
	6-9	10-15	16-20	6-9	10-15	16-20	6-9	10-15	16-20
	Балка (впадина)			Виступ			Пагорб (гребінь)		
0,5	2,0	1,6	1,3	1,8	1,5	1,2	1,5	1,4	1,2
0,6...0,1	1,6	1,5	1,2	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2
1,0	1,5	1,4	1,1	1,4	1,2	1,1	1,3	1,2	1,0

Примітка: 1) Якщо джерело викидів шкідливих речовин розташоване на верхньому плато виступу, то в якості аргументу функції  $\varphi_1$  замість  $\frac{(x_0)}{a_0}$  приймають  $\frac{x_0}{a_0}$  (рис. 1); 2) Якщо перепона являє собою пасма (балки), витягнені в одному напрямку, то параметри  $h_0$  і  $a_0$  визначають для поперечного перетину, перпендикулярного цьому напрямку; 3) Якщо ізольована перепона являє собою окремі пагорби або впадини, то параметр  $h_0$  вибирають таким чином, щоб відповідав максимальній (мінімальній) відмітці перепони, а  $n_2$  максимальній крутизні схилу, зверненого до джерела викидів; 4) Якщо джерело викидів потрапляє в зону впливу декількох ізольованих перепон, то слід визначати поправкові коефіцієнти для кожної окремої перепони й використати максимальні.

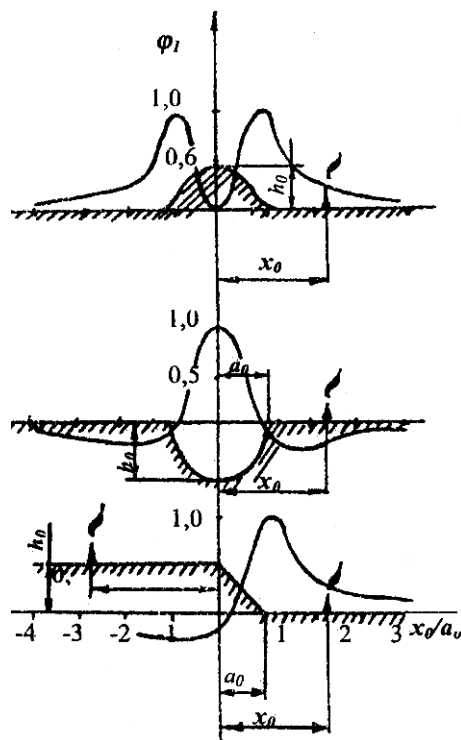


Рис. 1 Форма поперечного перетину рельєфу місцевості:  $h_0$  – висота (глибина) перепони;  $x_0$  – відстань від середини перепони (пасма, балки) та

верхньої крайки схилу до джерела викиду шкідливих речовин;  $a_0$  – напівширина пасма, гребеня (пагорбу), балки або протяжність бічного схилу виступу

### **Розрахунок гранично допустимих викидів шкідливих газів в атмосферу**

1) За санітарними нормами СН245-71 вибирають гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу;

2) Визначають фонову концентрацію шкідливих речовин в атмосфері за формулою:

$$C_{\phi} = 0,1 \cdot ГДК_i, \text{ мг/м}^3; \quad (10)$$

де  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -тої шкідливої речовини,  $\text{мг/м}^3$ .

3) За формулою (3) визначають об'ємну швидкість нагрітої газоповітряної суміші;

4) Визначають різницю  $\Delta T$  між температурою газоповітряної суміші  $T_r$  та температурою повітря навколишнього середовища  $T_{\text{п}}$ :

$$\Delta T = T_r - T_{\text{п}}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (11)$$

5) За формулою (4) визначають швидкість виходу холодної газоповітряної суміші з джерела викиду;

6) Визначають коефіцієнт  $A$ , що залежить від температурної стратифікації;

7) Визначають безрозмірний коефіцієнт  $F$ , що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері;

8) За формулою (5) визначають безрозмірний коефіцієнт  $m$ ;

9) Визначають безрозмірний коефіцієнт  $n$ , що враховує вплив рельєфу на розсіювання шкідливих газів в атмосфері;

10) За формулою (1) визначають гранично допустимий викид нагрітої газоповітряної суміші в атмосферу;

11) За формулою (2) визначають гранично допустимий викид холодної газоповітряної суміші в атмосферу;

12) Роблять висновок щодо величини гранично допустимих викидів нагрітих і холодних газоповітряних сумішей.

Розрахувати гранично допустимі викиди в атмосферу нагрітих і холодних газоповітряних сумішей, якщо відомі такі дані:

1. найменування шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу.

Основні шкідливі гази при виробництві ДСП:

Формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ ): Основний токсичний компонент, який виділяється з фенолформальдегідних, сечовиноформальдегідних та меламіноформальдегідних смолів, які утворюються як в'язучі речовини при виробництві ДСП. Формальдегід є канцерогеном і має високий клас небезпек.

Фенол ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ): Виділяється при використанні фенолформальдегідних смол. Фенол токсичний, подразнює слизові клітини, може викликати ускладнені реакції, а також має другий клас небезпеки.

Аміак ( $\text{NH}_3$ ): Може утворюватися як побічний продукт при деяких технологічних процесах, особливо при термічній обробці смол.

Стирол: Може виділятися в незначних кількостях при використанні певних полімерних добавок у виробництві плит.

Ацетон: Летка органічних сполук, яка може з'являтися при виробництві та обробці плит, особливо при використанні розчинників.

Фурфурол, акрилова кислота: Може бути присутнім у викидах як домішки чи продукти розкладу органічних речовин.

Додаткові забруднювачі

Оксиди вуглецю, азоту, сірководню, альдегіду масляного і сажі.

2. гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосфері
3. Висота джерела викиду над рівнем землі – 24 м.
4. Температура нагрітої газоповітряної суміші  $T = 240$  °С;
5. середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду – 8 м/с;
6. діаметр отвору джерела викиду – 0,4 м;
7. швидкість осідання дрібнодисперсних аерозолів – 4 см/с;
8. рельєф місцевості – пагорб (гребінь) висотою 1,5 м;
9. відстань від середини пагорба до джерела викиду – 20 м;
10. відстань від найвищої точки пагорба (півширина пагорба) до кінця його схилу – 2,5 м.

***Розрахунок:***

1) За формулою (3) визначаємо об'ємну швидкість газоповітряної суміші:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \cdot 8 = 1,0, \text{ м}^3/\text{с};$$

2) Знаходимо різницю між температурою нагрітої газоповітряної суміші та температурою навколишнього середовища (температурою повітря в самий гарячий день літа приймаємо  $t_n = 30$  °С):

$$\Delta T = 240 - 30 = 210, \text{ °С};$$

3) Вибираємо коефіцієнт А, що залежить від стану метеорологічних умов (від температури стратифікації атмосфери): для несприятливих метеорологічних умов приймаємо  $A = 3,0$ ;

4) Визначаємо величину безрозмірного коефіцієнта F: при заданій швидкості осідання дрібнодисперсних аерозолів 4 см/с  $F = 1,0$ ;

5) Для розрахунку безрозмірного коефіцієнта m попередньо за формулою (6) визначаємо параметр f,  $\text{мє}^{-2}\text{С}^{-1}$ :

$$f = 10^3 \frac{8^2}{24^2 \cdot 210} = 1,58, \text{ мє}^{-2}\text{С}^{-1};$$

6) За формулою (5) розраховуємо безрозмірний коефіцієнт m:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{1,58} + 0,34\sqrt[3]{1,58}} = 0,47;$$

7) За формулою (8) визначаємо параметр P:

$$P = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,0 \cdot 210}{24}} = 1,34;$$

8) За величиною параметра P вибираємо безрозмірний коефіцієнт n: якщо  $P \leq 0,3$ , то  $n = 3$ ;

9) Оскільки в районі розташування джерела викидів шкідливих речовин є перепони (пагорби) невеликої висоти ( $h_0 = 1,5$  м) і в радіусі 50 висот витяжних труб від джерела перепад відміток місцевості не перевищує 50 м на 1 км, то безрозмірний коефіцієнт приймаємо:  $\eta = 1,0$ .

10) За формулою (4) визначаємо швидкість виходу із джерела викиду холодної газоповітряної суміші:

$$V_2 = 1,3 \frac{0,4 \cdot 8^2}{24} = 1,39, \text{ м/с}$$

11) За формулою (1) розраховуємо ГДВ нагрітих газоповітряних сумішей в атмосферу:

- оксиду вуглецю:

$$ГДВ_{CO} = \frac{(3 - 0,3) \cdot 24^2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 210}}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 5,3 \text{ г/с};$$

- оксиду азоту:

$$ГДВ_{NO} = \frac{(0,6 - 0,06) \cdot 24^2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 210}}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 1,07, \text{ г/с};$$

- сірководню:

$$ГДВ_{H_2S} = \frac{(0,008 - 0,0008) \cdot 24^2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 210}}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,015, \text{ г/с};$$

- альдегіду масляного:

$$ГДВ_{алд} = \frac{(0,015 - 0,0015) \cdot 24^2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 210}}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,026, \text{ г/с};$$

- сажі:

$$ГДВ_{сажі} = \frac{(0,15 - 0,015) \cdot 24^2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 210}}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,26, \text{ г/с}.$$

12) За формулою (2) розраховуємо гранично допустимі викиди холодних газоповітряних сумішей в атмосферу:

- формальдегіду  $CH_2O$ :

$$ГДВ(CH_2O) = \frac{(0,2 - 0,05) \cdot 24^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot 1,39}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,053, \text{ г/с};$$

- фенолу ( $C_6H_5OH$ ):

$$ГДВ = \frac{(0,2 - 0,02) \cdot 24^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot 1,39}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,033, \text{ г/с};$$

- стиролу:

$$ГДВ = \frac{(3 - 0,3) \cdot 24^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot 1,39}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,49, \text{ г/с};$$

- аміаку:

$$ГДВ_{ам} = \frac{(0,2 - 0,02) \cdot 24^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot 1,39}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,033, \text{ г/с};$$

- бензолу:

$$ГДВ_{алд} = \frac{(1,5 - 0,15) \cdot 24^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot 1,39}{3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,47 \cdot 3,0 \cdot 1,0} 10^{-3} = 0,24, \text{ г/с}.$$

Висновок: З результатів розрахунків видно, що за кожену секунду в атмосферу викидається нагрітих газоповітряних сумішей – 6,67 г, холодних – близько 0,80 г. Найбільше в атмосферу викидається оксид вуглецю та оксиду азоту в нагрітому стані. Серед холодних газоповітряних сумішей найбільше викидається дихлоретан.

## 2.3. Вплив формальдегіду на довкілля і здоров'я людини

Формальдегід є одним із найнебезпечніших забруднювачів, що виділяються під час виробництва деревинностружкових плит. Його шкідливий вплив проявляється як на довкілля, так і на здоров'я людини.

### **Вплив на довкілля:**

➤ **Забруднення атмосферного повітря.** Формальдегід легко випаровується, що призводить до підвищення його концентрації в повітрі навколо виробничих об'єктів і житлових зон.

➤ **Фотохімічне забруднення.** У присутності сонячного світла формальдегід бере участь у хімічних реакціях, що сприяють утворенню вторинних забруднювачів, таких як озон на рівні земної поверхні.

➤ **Накопичення у водному середовищі.** При потраплянні до стічних вод формальдегід може викликати токсичний вплив на водні організми навіть у низьких концентраціях.

### **Вплив на здоров'я людини:**

➤ **Гострий вплив.** При високих концентраціях формальдегід викликає подразнення слизових оболонок очей, носа і горла, слезотечу, кашель, головний біль, нудоту.

➤ **Хронічний вплив.** Тривалий контакт навіть з низькими концентраціями може призводити до розвитку астми, алергічних реакцій, погіршення функцій дихальної системи.

➤ **Канцерогенний ефект.** Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) класифікує формальдегід як речовину групи 1 — канцероген для людини. Існує встановлений зв'язок між тривалим впливом формальдегіду та розвитком раку носоглотки і лейкемії.

### **Найбільш вразливі групи населення:**

➤ працівники виробничих підприємств;

- діти та люди похилого віку;
- люди з хронічними захворюваннями органів дихання.

#### **Нормативні рекомендації щодо безпеки:**

- Використання засобів індивідуального захисту (маски, респіратори).
- Встановлення ефективної вентиляції та систем очищення повітря.
- Регулярний моніторинг концентрацій формальдегіду в робочій зоні та навколишньому середовищі.

Таким чином, мінімізація викидів формальдегіду є критично важливою як для забезпечення екологічної безпеки, так і для збереження здоров'я людей.

## **2.4. Аналіз існуючих методів контролю викидів**

Контроль за викидами формальдегіду у виробництві деревинностружкових плит здійснюється за допомогою різних технічних та організаційних заходів. Їх можна умовно поділити на три основні групи: моніторинг концентрацій, технологічні заходи з мінімізації викидів та очищення повітря.

### **1. Методи моніторингу викидів:**

- **Пробовідбір повітря та лабораторний аналіз.** Застосовуються стандартні методики, наприклад, пробовідбір на сорбенти з подальшим аналізом методом газової хроматографії або фотометрії.
- **Портативні аналізатори формальдегіду.** Використовуються для оперативного вимірювання концентрацій у виробничих зонах.

➤ **Автоматизовані системи моніторингу.** Дають змогу безперервно контролювати викиди, фіксуючи перевищення нормативних значень у режимі реального часу.

## **2. Технологічні заходи з мінімізації викидів:**

➤ **Оптимізація рецептури смол.** Використання смол з низьким вмістом вільного формальдегіду (низькоемісійні або безформальдегідні клеї).

➤ **Поліпшення технології пресування.** Зменшення часу та температури пресування без втрати якості плит допомагає знизити виділення формальдегіду.

➤ **Використання добавок-зв'язувачів формальдегіду.** Наприклад, сечовина або інші реагенти, які хімічно зв'язують формальдегід під час виробництва.

## **3. Очищення повітря від формальдегіду:**

➤ **Адсорбційні фільтри.** Використання активованого вугілля або цеолітів для уловлювання формальдегіду з газового потоку.

➤ **Каталітичне окиснення.** Процес перетворення формальдегіду у нешкідливі речовини (вуглекислий газ і вода) під дією каталізаторів при підвищених температурах.

➤ **Біофільтри.** Застосування мікроорганізмів для біологічної деградації формальдегіду у спеціальних реакторах із фільтруючим середовищем.

**Таблиця 4. Порівняльна характеристика методів контролю:**

<b>Метод</b>	<b>Ефективність</b>	<b>Вартість впровадження</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Лабораторний аналіз	Висока	Середня	Точність, надійність	Повільний процес
Портативні аналізатори	Середня	Низька	Мобільність, оперативність	Менша точність
Автоматичний моніторинг	Висока	Висока	Безперервний контроль	Висока вартість
Адсорбційні фільтри	Висока	Середня	Простота експлуатації	Потреба в регулярній заміні
Каталітичне окиснення	Дуже висока	Висока	Повне руйнування формальдегіду	Високі енерговитрати
Біофільтри	Середня	Середня	Екологічність, економічність	Складність обслуговування

**Висновок:**

Ефективний контроль викидів формальдегіду на підприємстві досягається шляхом комбінації заходів: удосконалення технології виробництва плит, використання більш безпечних матеріалів, а також впровадження сучасних систем моніторингу і очищення повітря.

## 2.5. Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено детальний аналіз джерел і обсягів викидів формальдегіду у процесі виробництва деревинностружкових плит. Основними етапами, що генерують викиди формальдегіду, є процеси підготовки сировини, нанесення клею, пресування плит та їх подальша обробка.

Проаналізовано чинні нормативи допустимих викидів формальдегіду як в Україні, так і в міжнародній практиці. Встановлено, що вимоги до викидів стають дедалі жорсткішими, що стимулює виробників до впровадження заходів зі зменшення шкідливих викидів.

Вивчено негативний вплив формальдегіду на довкілля і здоров'я людини, зокрема ризики розвитку респіраторних, онкологічних та алергічних захворювань при тривалому впливі цієї речовини.

Розглянуто основні сучасні методи контролю за викидами формальдегіду, серед яких найбільш перспективними є поєднання технологічної оптимізації процесів, застосування низькоемісійних матеріалів, а також використання адсорбційних та каталітичних систем очищення повітря.

Таким чином, для зниження викидів формальдегіду необхідний комплексний підхід, що включає як технологічні удосконалення, так і організаційні заходи контролю за станом повітряного середовища на виробництві.

## **Розділ 3 Технічні рішення щодо зменшення викидів формальдегіду.**

### **3.1. Підбір менш токсичних смол та модифікація рецептури клею**

Одним із найефективніших шляхів зниження викидів формальдегіду у виробництві деревинностружкових плит є заміна традиційних формальдегідних смол на менш токсичні або модифіковані варіанти клеєвих складів. Оскільки основним джерелом емісії формальдегіду є саме використання формальдегідвмісних смол (переважно сечовино-формальдегідних — СФС), оптимізація їх складу має першочергове значення.

**Сучасні тенденції у виборі смол включають:**

➤ **Сечовино-меламіно-формальдегідні (СМФ) смоли.** Додавання меламіну до складу смоли знижує вміст вільного формальдегіду завдяки підвищенню стабільності структури полімеру. Це дає змогу зменшити емісію формальдегіду до класу E1 або навіть E0 відповідно до європейських стандартів.

➤ **Сечовино-формальдегідні смоли з модифікацією.** В рецептуру можуть вводитися карбамідні добавки або модифікатори на основі полімерів, які зв'язують вільний формальдегід і зменшують його вивільнення у повітря. Найпоширеніші методи модифікації:

- Використання сечовини у надлишку на стадії синтезу.
- Введення добавок, що фіксують формальдегід (карбамідні розчини, аміак).

➤ **Фенол-формальдегідні смоли (ФФС).** Хоча ФФС мають більш стабільну структуру і нижчу емісію формальдегіду порівняно з СФС, вони

дорожчі та темніше забарвлюють плити, що обмежує їх застосування у виробництві декоративних плит.

○ **Альтернативні екологічні клеї.** Останніми роками розвивається напрям використання біорозкладних клеїв на основі: танінів і лігніну; касторової олії та інших природних полімерів. Однак широке впровадження таких клеїв наразі обмежене через високу вартість і складність технологій.

### **Основні методи модифікації рецептур клею для зниження емісії формальдегіду:**

1. **Зменшення молярного співвідношення формальдегіду до сечовини.** Зазвичай співвідношення зменшують до 1,0–1,1:1 для отримання низькоемісійних плит.

2. **Використання пост-обробки плит поглиначами формальдегіду.** Поверхнева обробка готових плит речовинами, які зв'язують формальдегід (наприклад, сечовина, аміачні розчини).

3. **Інтенсифікація полімеризації смоли під час пресування.** Забезпечення повного затвердіння смоли мінімізує виділення залишкового формальдегіду.

4. **Введення у склад смоли спеціальних присадок.** Наприклад, додавання наноксидів ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ) або антиформальдегідних агентів.

**Таблиця 6. Порівняння ефективності різних смол щодо емісії формальдегіду**

<b>Тип смоли</b>	<b>Клас емісії формальдегіду</b>	<b>Основні переваги</b>	<b>Основні недоліки</b>
<b>Сечовино-меламіно-формальдегідні звичайна</b>	E2	Низька вартість	Висока емісія формальдегіду
<b>Сечовино-меламіно-формальдегідні модифікована</b>	E1 або E0	Помірна вартість, низька емісія	Складність виробництва
<b>Сечовино-меламіно-формальдегідні смола</b>	E0 або нижче	Дуже низька емісія, висока стійкість	Вища вартість
<b>Фенол-формальдегідні смоли</b>	E1 або нижче	Дуже низька емісія, висока стабільність	Висока ціна, темне забарвлення
<b>Біо-смоли (лігнін, таніни)</b>	E0 або краще	Екологічність, відновлюваність ресурсів	Висока вартість, технологічні труднощі

**Висновок:** підбір оптимальної рецептури клею з урахуванням економічних можливостей підприємства та вимог до якості продукції є критичним фактором у зниженні викидів формальдегіду. Найбільш перспективним напрямом в сучасних умовах є модифікація сечовино-формальдегідних смол із одночасним підвищенням контролю за технологічним процесом їх полімеризації.

### **3.2. Оптимізація режимів пресування (температура, тиск, тривалість)**

Одним із ключових технологічних чинників, що впливають на рівень викидів формальдегіду з деревностружкових плит, є параметри пресування: температура, тиск і тривалість циклу. Правильний вибір і регулювання цих режимів дають змогу суттєво зменшити емісію формальдегіду без зміни складу клею, підвищити якість готової продукції та знизити енергетичні витрати.

**Температура пресування** Температура відіграє вирішальну роль у процесі полімеризації формальдегідних смол. При недостатній температурі можливе неповне отвердіння смоли, що спричиняє підвищену емісію залишкового формальдегіду у плитах. Надто висока температура, навпаки, може призвести до руйнування структури деревини і збільшення термічних викидів летких органічних сполук.

Оптимальні температурні режими для виробництва ДСП зазвичай становлять:

- **180–220 °C** для сечовино-формальдегідних і меламіно-сечовино-формальдегідних смол.
- При використанні фенол-формальдегідних смол потрібна вища температура – **200–230 °C**.

**Тиск пресування** Тиск визначає щільність плити і рівень контакту між частинками деревини та клеєм. Недостатній тиск може призвести до утворення внутрішніх порождин, що підвищує ризик випаровування формальдегіду. Занадто високий тиск спричиняє пошкодження структури стружки, зменшення пористості і погіршення механічних характеристик плити.

Зазвичай тиск встановлюється в діапазоні:

- **2,5–3,5 МПа** для плит стандартної щільності (600–750 кг/м<sup>3</sup>).

**Тривалість циклу пресування** Тривалість визначається часом, необхідним для повного отвердіння смоли і формування заданої структури плити. Недостатній час пресування призводить до незавершеної полімеризації, що спричиняє зростання емісії формальдегіду при подальшій експлуатації плити.

Типова тривалість пресування становить:

- **20–40 секунд на міліметр товщини плити.** Для плит товщиною 16 мм час пресування становить орієнтовно **320–640 секунд** залежно від типу клею і заданих властивостей.

**Методи оптимізації режимів пресування для зниження викидів формальдегіду:**

- **Поступовий нагрів плити.** Використання програми нагріву з контрольованим підвищенням температури сприяє рівномірному затвердінню смоли і зменшенню поверхневого викиду летких речовин.

- **Контроль вологості стружки.** Початкова вологість деревинної сировини безпосередньо впливає на ефективність теплопередачі і полімеризації клею. Оптимальна вологість стружки перед пресуванням становить **8–12%**.

- **Багатоступеневе пресування.** Використання багатофазних режимів тиску і температури дозволяє мінімізувати внутрішні напруги в плиті і зменшити ризик вивільнення формальдегіду.

- **Використання короткочасного пост-пресування.** Додаткове коротке витримування плит під незначним тиском і температурою після основного циклу дає можливість завершити полімеризацію смоли.

**Приклад оптимізації на практиці:** На підприємствах ЄС (наприклад, Egger, Kronospan) впроваджуються автоматизовані системи контролю температури, тиску і тривалості пресування з датчиками в реальному часі. Завдяки цьому досягається стабільно низький рівень емісії формальдегіду (нижче за норму E1), а також покращуються механічні властивості плит.

**Висновок:** Оптимізація режимів пресування є одним із найефективніших шляхів мінімізації викидів формальдегіду без значних додаткових витрат. Правильне регулювання температури, тиску і тривалості дозволяє забезпечити повноцінну полімеризацію смол, зменшити кількість вільного формальдегіду в готовій продукції та підвищити екологічну безпеку виробництва.

### **3.3. Технічне удосконалення вентиляції та фільтрації повітря**

Окрім оптимізації технологічних процесів та рецептур клею, важливою складовою системи зменшення викидів формальдегіду на підприємствах з виробництва деревинностружкових плит є організація ефективної вентиляції та очищення повітря. Саме технічне вдосконалення систем аспірації та фільтрації дозволяє суттєво зменшити концентрацію шкідливих речовин у робочій зоні та запобігти їхньому потраплянню в атмосферу.

**Системи вентиляції на виробництві ДСП поділяються на:**

- **Аспіраційні системи.** Призначені для видалення забрудненого повітря з зон обробки стружки, нанесення клею, гарячого пресування та шліфування плит.
- **Загальнообмінна вентиляція.** Забезпечує подачу свіжого повітря та розбавлення концентрацій шкідливих речовин у виробничих приміщеннях.
- **Локальні витяжки.** Використовуються для точкового уловлювання випарів безпосередньо у місцях їх утворення.

**Основні технічні заходи для удосконалення вентиляції:**

- **Модернізація аспіраційних систем.** Впровадження багатоступневих витяжних систем, які забезпечують локалізацію джерел викидів і мінімізують потрапляння забруднень у загальний об'єм повітря цеху.
- **Інсталяція вискоелективних витяжних колекторів.** Спеціальні каптуючі пристрої розташовуються безпосередньо над пресами, лініями нанесення клею та шліфувальними машинами.

➤ **Рециркуляція повітря з очищенням.**

Часткове повернення очищеного повітря назад у виробниче середовище зменшує втрати тепла і витрати енергії на обігрів цехів.

➤ **Автоматизація роботи вентиляції.** Використання датчиків якості повітря (концентрації формальдегіду, температури, вологості) для автоматичного регулювання роботи витяжних систем залежно від навантаження.

**Системи фільтрації для очищення повітря:**

➤ **Механічні фільтри.** Використовуються для уловлювання пилу та великих часток деревини (циклонні фільтри, рукавні фільтри).

➤ **Сорбційні фільтри.** Для уловлювання летких органічних сполук, зокрема формальдегіду, ефективно застосовуються фільтри з активованим вугіллям. Такі системи забезпечують зниження концентрації формальдегіду у вихідному повітрі до **70–90%**.

➤ **Каталітичне очищення повітря.** Високотемпературні каталітичні реактори дозволяють розкладати формальдегід на безпечні компоненти (вуглекислий газ і воду) при температурах **250–400 °C**.

➤ **Плазмохімічні системи очищення.** Новітня технологія, яка передбачає руйнування молекул формальдегіду шляхом впливу низькотемпературної плазми.

**Приклади впровадження на практиці:**

➤ На сучасних підприємствах концерну **Kronospan** застосовується багатоступенева система фільтрації: спочатку механічне очищення, потім адсорбційна фільтрація активованим вугіллям, а на завершальному етапі - каталітичне допалювання залишкових газів.

➤ Українські підприємства, такі як ТОВ "Свиспан Лімітед", впроваджують системи локальної аспірації безпосередньо над гарячими пресами для мінімізації поширення парів формальдегіду в цехах.

#### **Переваги технічного удосконалення вентиляції та фільтрації:**

1. Зниження концентрації формальдегіду у робочій зоні.
2. Поліпшення умов праці та зменшення професійних захворювань серед працівників.
3. Зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу та дотримання екологічних норм.
4. Підвищення енергоефективності виробництва.

Як свідчить світова практика, для захисту довкілля від викидів формальдегіду та інших попутних шкідливих газів ефективним є використання адсорбційної установки. Розрахунок адсорбційної установки за даними одного з підприємств виробництва ДСП в західному регіоні України приведемо нижче.

За вихідні дані для розрахунку адсорбційної установки приймаємо: об'ємна витрата очищеного повітря (газу),  $\text{м}^3/\text{с}$ ; концентрація видаленої домішки ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), тиск відповідних газів (Па).

**Розрахунок адсорбційної установки зводиться до визначення потрібної маси адсорбента, конструктивних розмірів, гідравлічного опору адсорбента та його часу захисної зони.**

На першому етапі розрахунку та проектуванні адсорбера вибираємо робочу температуру та тип сорбента. Для збільшення адсорбційної здатності сорбента робочу температуру, як правило, вибирають мінімально можливою. вибів сорбента здійснюється за ізотермами адсорбції (див. рис. 5)

при робочих параметрах температури й концентрації домішки за умов мінімальної маси сорбента.

Мінімальну необхідну масу сорбента визначають із рівняння матеріального балансу за кількістю вловленого компонента [6]:

$$Q_{\min} = \frac{Q_n c_o \tau k_3 10^3}{a_\infty}, \quad (9)$$

де  $Q_n$  – об’ємна витрата очищуваного повітря (газу), м<sup>3</sup>/с;  $c_o$  – концентрація видалених домішок, мг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – час адсорбції, с;  $k_3$  – коефіцієнт запасу, приймають 1,1...1,2;  $a_\infty$  – статична поглинаюча здатність адсорбента в робочих умовах, мг/кг адсорбента.

Швидкість повітряного потоку в адсорбері  $w_{гп}$  розраховують, виходячи із допустимого падіння тиску  $\Delta p$  в адсорбері [6]:

$$w_{гп} = \sqrt[3]{\frac{4k_\phi \Delta p d_{екв} \rho_H Q_n}{3\xi \rho_n (1 - \Pi_H) Q_{\min}}}, \quad (10)$$

де  $k_\phi$  – коефіцієнт форми зерна сорбента, що враховує неоднакову доступність всієї поверхні зерна обдувному потоку, визначають:

$$k_\phi = 1,5 d_3 l_3 (\ell_3 + 0,5 d_3)^{-1} (1,5 d_3^2 l_3)^{-1,3}, \quad (11)$$

$d_3$  – діаметр зерна, м;  $l_3$  – довжина зерна, м;  $d_{екв}$  – еквівалентний діаметр зерна сорбента, м, визначають:

$$d_{екв} = \frac{\Pi_H d_3 l_3}{(1 - \Pi_H)(0,5 d_3 + l_3)}, \quad (12)$$

$\Pi_H$  – пористість шару сорбента, визначають:

$$\Pi_H = (\rho_{noz} - \rho_H) / \rho_{noz}, \quad (13)$$

$\rho_{noz}$  – позірна частина сорбента, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_H$  – насичена густина сорбента, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  - коефіцієнт гідравлічного опору, що визначається в залежності від режиму течії газоповітряного потоку; при критерії Рейнольдса  $Re < 50$   $\xi = 220/Re$ , при  $50 \leq Re \leq 7200$   $\xi = 11,6/Re^{0,25}$ , де  $Re = w_{гп} d_{екв} \rho_{гп} / \mu$ ,  $\mu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу. Виходячи із умов існування необхідного часу контакту газу з сорбентом і мінімальних гідравлічних опорів,  $w_{гп}$  вибирають у межах 0,15...0,5 м/с.

Геометричні розміри адсорбера (діаметр  $D_a$  і довжина  $L_a$ ) визначають за формулами [6]:

$$D_a = \sqrt{\frac{4Q_{zn}}{\pi w \Pi_H}}; \quad L_a = \frac{4Q_{min}}{\pi \rho_H D_a^2}, \quad (14)$$

Час захисної дії адсорбера визначають, виходячи із характеру кривої ізотерми адсорбції. Для області ізотерми адсорбції, в якій спостерігається закон Генрі ( $a = \Gamma \cdot c$ , де  $\Gamma$  – безрозмірний коефіцієнт Генрі, що визначають за відношенням кількості адсорбованої речовини  $a_0$  до початкової концентрації в газоповітряному потоці  $c_0$ ), тривалість адсорбції  $\tau$  визначають за формулою [6]:

$$\tau = \left[ L_a \sqrt{\frac{60\Gamma}{w_{zn}}} - \epsilon \sqrt{\frac{\Gamma}{\beta \cdot S_n}} \right]^2, \quad (15)$$

де:  $S_n$  – питома поверхня адсорбента, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; визначають за формулою:

$$S_n = 4(1 - \Pi_H)(d_3 \ell_3)^{-1}(0,5d_3 + \ell_3), \quad (16)$$

$\epsilon$  – коефіцієнт, що визначається за табл. 1 в залежності від відношення вмісту поглинаючої речовини в газоповітряному потоці на виході та вході адсорбера:

Таблиця 9 Значення коефіцієнта  $\epsilon$  у залежності від відношення вмісту поглинаючої речовини в газоповітряному потоці на виході та вході адсорбера

$c/c_0$	$\epsilon$	$c/c_0$	$\epsilon$	$c/c_0$	$\epsilon$
0,005	1,84	0,1	0,94	0,5	0,07
0,01	1,67	0,2	0,63	0,6	-0,10
0,03	1,35	0,3	0,42	0,8	-0,27
0,05	1,19	0,4	0,23	0,9	-0,68

$\beta$  – коефіцієнт масопередачі,  $c^{-1}$ , визначають у залежності від режиму течії газоповітряного потоку:

$$\beta = 0,833 \text{Re}^{0,47} P_{гн}^{0,35} \frac{D}{d_{екв}^2} \text{ при } \text{Re} < 30; \quad (17)$$

$$\beta = 0,53 \text{Re}^{0,64} P_{гн}^{0,33} \frac{D}{d_{екв}^2} \text{ при } \text{Re} \text{ від } 30 \text{ до } 50;$$

де  $P_{гн} = \nu/D$  – дифузійний критерій Прандля;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу при робочих умовах, м/с;  $D$  – коефіцієнт дифузії уловлюваного газу в повітрі.

Коефіцієнт дифузії визначається за формулою:

$$D = D_0 (T/T_0)^{1,5} (p_0/p), \quad (18)$$

де  $D_0$  – коефіцієнт дифузії при  $T_0=273$  К і  $p_0=101,3$  кПа.

Для області ізотерми адсорбції, в якій спостерігається рівняння Ленгмюра  $[a=AB_c(1+A_c)^{-1}]$ , де А і В – константи, що залежать від властивостей адсорбента та адсорбованої речовини], тривалість адсорбції може бути визначена за формулою [6]:

$$\tau = \frac{60a_o}{w_{zn}c_o} \left\{ L_a - \frac{w_{zn}}{60\beta S_n} \left[ \frac{c}{c_o} \ln\left(\frac{c_o}{c_{noz}} - 1\right) + \ln\left(\frac{c_o}{c_{noz}} - 1\right) \right] \right\}, \quad (19)$$

де  $c_1$  – вміст речовини в газоповітряному потоці, зрівноважений з кількості речовини, рівним половині  $a_{\infty}$ , кг/м<sup>3</sup>;  $c_{noz}$  – позірний вміст речовини в газоповітряному потоці, кг/м<sup>3</sup>.

Для області ізотерми адсорбції, де величина адсорбції практично не залежить від вмісту речовини в газоповітряному потоці (тобто, коли  $a \approx B$ ), тривалість адсорбції визначають за формулою:

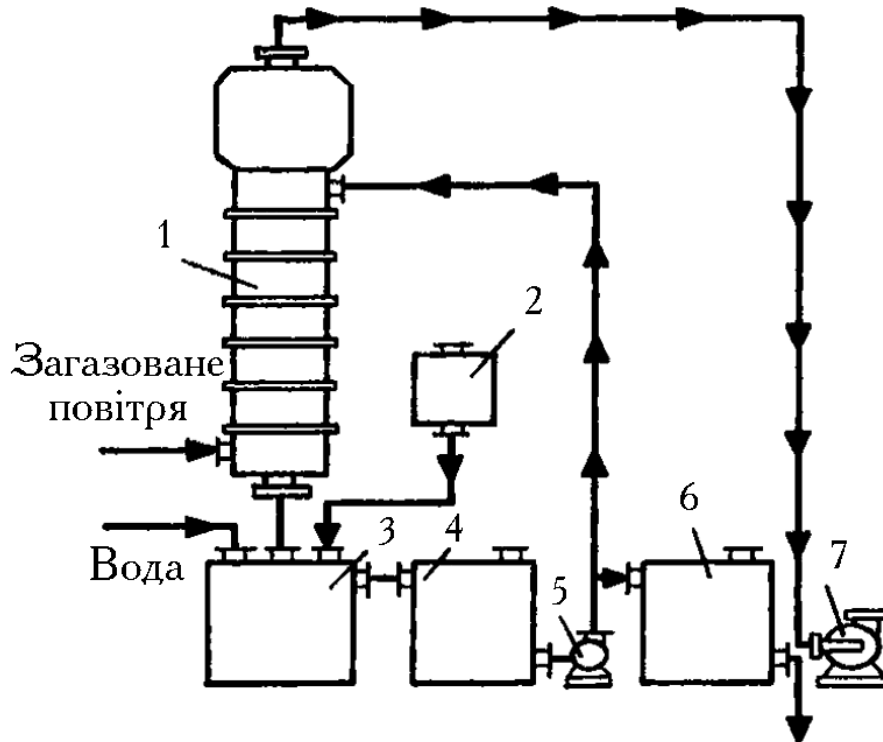
$$\tau = \frac{60a_o}{w_{zn}c_o} \left[ L_a - \frac{w_{zn}}{60\beta S_n} \ln\left(\frac{c_o}{c_{noz}} - 1\right) \right], \quad (20)$$

Якщо отриманий час захисної дії абсорбера відрізняється від заданого  $\tau$  на величину  $\Delta\tau$ , то довжину апарата змінюють на величину  $\Delta L_a = (Q_{гп}c_o\Delta\tau)/(\rho_H \cdot F_{\infty} \cdot a_{\infty})$  і переходять масу адсорбента. Решта параметрів не підлягають коректуванню.

#### Адсорбційно-абсорбційне від парів формальдегіду

Очищення атмосферного повітря від токсичних парів формальдегіду, що виділяється при варінні мочевино-формальдегідних смол і приготуванні клеїв, застосуванні їх при склеюванні деревини та деревних матеріалів (виробництво меблів, фанери, деревно-стружкових і шаруватих пластиків)

здійснюється комбінованим – адсорбційно-абсорбційним методом. Для цього застосовують на промислових підприємствах спеціальні адсорбційно-абсорбційні установки, одна з яких приведена на рис. 8.

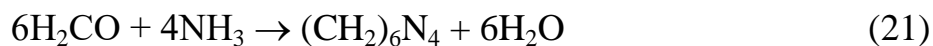


**Рис. 8. Схема адсорбційно-абсорбційної установки для очищення повітря від парів формальдегіду:**

- 1 – шеститарільчаста колонка; 2 – мірник аміаку;  
3 – реактор; 4 – ємність; 5 – насос; 6 – збирач; 7 – вентилятор

Принцип роботи установки полягає в наступному. Повітря, забруднене формальдегідом, подається в адсорбер 1 знизу до верху через шари активованого вугілля, в результаті чого відбувається адсорбція (поглинання) пари формальдегіду. Процес адсорбції триває 30 хв, після чого вугілля

автоматично висипається в реактор 3. В цей момент у реактор подається вода, а з мірника 2 – розчин аміаку. Вся суміш у реакторі перемішується спеціальним роторним механізмом, відбувається хімічна реакція



В результаті реакції вловлений поглиначем формальдегід  $\text{H}_2\text{CO}$  під дією аміаку нейтралізується і переходить в уротропін  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ . Отже, досягається відповідне очищення повітря від формальдегіду та утворення нової речовини – уротропіну, область застосування якого досить різноманітна.

**Висновок:** Ефективне технічне удосконалення вентиляції та фільтрації є невід’ємною частиною комплексного підходу до мінімізації викидів формальдегіду. Інвестиції в сучасні системи аспірації та очищення повітря забезпечують не лише виконання вимог екологічного законодавства, але й суттєве підвищення якості продукції та конкурентоспроможності підприємства.

### **3.4. Приклади впровадження технологічних рішень на українських або європейських підприємствах**

В умовах посилення екологічних вимог до виробництва деревинностружкових плит, підприємства як в Україні, так і в Європі активно впроваджують технологічні рішення для зниження викидів формальдегіду. Нижче наведено кілька прикладів практичних заходів, реалізованих на провідних виробництвах.

#### **Європейські підприємства:**

➤ **Egger Group (Австрія, Німеччина, Румунія)**

Компанія Egger активно впроваджує низькоемісійні технології. Для

виготовлення деревинностружкових плит застосовуються карбамід-меламіно-формальдегідні смоли з модифікованою рецептурою, що мають знижений коефіцієнт виділення формальдегіду (плити класу **E0.5** та **E1**). Крім того, на підприємствах Egger реалізована багатоступенева система очищення повітря: механічна фільтрація пилу, адсорбція активованим вугіллям та каталітичне допалювання залишкових газів.

➤ **Kronospan (Польща, Німеччина, Чехія)**

Kronospan модернізував процеси пресування плит шляхом впровадження мультizonального контролю температури і тиску в пресах. Це забезпечило рівномірне затвердіння смоли та зменшення емісії формальдегіду до рівня плит **E1** і **CARB2** (вимоги Каліфорнійської ради з повітряних ресурсів). Також активно використовується рециркуляція повітря після очищення та технологія сухого знешкодження формальдегіду каталітичними реакторами.

➤ **Sonae Arauco (Португалія, Іспанія, Німеччина)**

Підприємства компанії впровадили виробництво деревних плит на основі безформальдегідних смол (наприклад, на основі ізоціанатних полімерів), що дозволило випускати продукцію з рівнем емісії формальдегіду, наближеним до природного рівня деревини.

**Українські підприємства:**

➤ **ТОВ "Свиспан Лімітед" (м. Кам'янець-Подільський)**

Підприємство модернізувало свої виробничі лінії, впровадивши новітні системи аспірації, зокрема локальні витяжки над гарячими пресами та шліфувальними вузлами. Також здійснено перехід на використання меламіно-модифікованих сечовино-формальдегідних смол, що дозволило знизити викиди формальдегіду до рівня **E1**. Додатково встановлено систему контролю якості повітря в робочих зонах із автоматичним регулюванням роботи витяжної вентиляції..

➤ **ТОВ "Krono Ukraine" (м. Брошнів-Осада, Івано-Франківська область)** Підприємство входить до складу Kronospan і активно запроваджує європейські стандарти виробництва. Було реалізовано оптимізацію режимів гарячого пресування з використанням швидкодіючих пресів з багатозонним нагріванням. Завдяки цьому рівень залишкового формальдегіду в плитах зменшено на 30–40% у порівнянні з традиційними технологіями.

➤ **ТОВ "Європан" (м. Коростень)** Основні зусилля спрямовані на вдосконалення рецептур клею шляхом додавання у смоли добавок, що знижують рівень вивільнення формальдегіду. Також підприємство встановило фільтраційні системи з використанням адсорбційних вуглецевих фільтрів для очищення повітря від летких органічних сполук.

**Ключові технологічні рішення, які впроваджуються:**

- Перехід на менш токсичні клеї та смоли.
- Впровадження багатофазних режимів пресування.
- Використання автоматизованих систем моніторингу викидів.
- Інсталяція сучасних систем аспірації та фільтрації повітря.
- Розробка та застосування альтернативних безформальдегідних технологій.

**Висновок:** Досвід українських та європейських підприємств показує, що системний підхід до оптимізації технологічного процесу, удосконалення вентиляційних систем та використання екологічно безпечних матеріалів дозволяє досягти значного зниження викидів формальдегіду. Впровадження сучасних технологій не лише відповідає вимогам екологічного законодавства, а й забезпечує високу якість продукції та зменшує вплив виробництва на навколишнє середовище.

### 3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі були розглянуті основні технічні рішення, спрямовані на зменшення викидів формальдегіду в процесі виробництва деревинностружкових плит.

Основні результати аналізу:

- **Підбір менш токсичних смол та модифікація рецептури клею** є важливим напрямом зниження рівня емісії формальдегіду з готової продукції. Застосування меламін-модифікованих сечовино-формальдегідних смол, фенолформальдегідних смол або альтернативних безформальдегідних систем дозволяє значно скоротити обсяги шкідливих викидів.
- **Оптимізація режимів пресування** — температури, тиску та тривалості — сприяє повнішому полімеризаційному затвердінню смол, що, у свою чергу, зменшує виділення залишкового формальдегіду в процесі експлуатації плит.
- **Удосконалення вентиляційних і фільтраційних систем** забезпечує ефективне видалення парів формальдегіду та інших летких органічних сполук із робочої зони та запобігає забрудненню довкілля. Впровадження системи рекуперації формальдегіду. Проведений розрахунок рекупераційної системи.
- **Практичні приклади українських та європейських підприємств** показують, що комплексний підхід до зменшення емісії формальдегіду дозволяє досягати високих екологічних стандартів, таких як класи емісії E1, E0.5 та навіть CARB2.

Таким чином, технічні рішення щодо зниження викидів формальдегіду є багатофакторними і вимагають одночасної модернізації рецептурних, технологічних і екологічних аспектів виробництва. Запровадження таких рішень дозволяє не лише підвищити екологічність продукції, а й зміцнити конкурентні позиції підприємства на ринку.

## **ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **1. Загальні вимоги охорони праці на підприємствах деревообробної промисловості**

Виробництво деревинно-стружкових плит (ДСП) належить до результату небезпечних видів діяльності через використання хімічних речовин (зокрема формальдегіду), високу напилуваність повітря, наявність рухомого обладнання, підвищену температуру та шум. Охорона праці на таких підприємствах спрямована на створення безпечних умов праці, попередження виробничого травматизму, професійних захворювань і збереження здоров'я працівників.

Основними документами, які регулюють охорону праці в галузі, є Закон України «Про охорону праці», Державні санітарні правила і нормативи, галузеві стандарти безпеки праці, а також міжнародні та європейські директиви, які впроваджуються у виробничу практику 1 .

### **2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

У виробництві ДСП основними небезпечними та шкідливими факторами є:

Хімічні фактори: виділення формальдегіду, фенолу, пилу деревини та інших летких органічних сполук під час підготовки сировини, пресування, сушіння та обробки плит.

Фізичні фактори: підвищений рівень шуму (робота дробарок, пресів, вентиляторів), вібрації, висока температура (особливо біля сушарок і пресів), електромагнітне випромінювання.

Механічні фактори: рухомі частини обладнання, ризик пошкодження гострими інструментами, безпека затягування одягу чи волосся в механізмі.

Пожежовибухонебезпечність: наявність легкозаймистих матеріалів (деревна стружка, пил, смоли), висока температура, можливість виникнення іскор.

**Таблиця 12 Основні небезпечні та шкідливі фактори і засоби захисту**

<b>Етап виробництва</b>	<b>Основні фактори</b>	<b>Засоби захисту</b>
Дроблення, сушіння	Пил, шум, температура	Витяжна вентиляція, респіратори, навушники, спецодяг
Клеювання	Формальдегід, хімічні речовини	Локальні витяжки, респіратори, рукавиці, окуляри
Гарячий пресинг	Висока температура, випари	Теплоізоляція, вентиляція, спецодяг
Обрізка, шліфування	Пил, шум	Аспірація, респіратори, навушники
Сортування, складування	Механічні травми, пил	Інструктаж, ЗІЗ, організація робочого простору

### **3. Організаційні заходи з охорони праці**

Для забезпечення безпеки праці на підприємствах впроваджуються такі організаційні заходи:

Проведення інструкторів з охорони праці (вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий).

Організація навчання та перевірки знань з питань охорони праці для всіх працівників.

Призначення відповідних осіб за стан охорони праці на ділянках.

Розробка та впровадження інструкцій з безпечного виконання робіт на кожному робочому місці.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до характеру виконаних робіт (респіратори, захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, протишумові навушники) 1 .

#### **4. Технічні заходи з охорони праці**

Технічні заходи охоплюють:

Автоматизація та механізація виробничих процесів для мінімізації контакту працівників з небезпечними речовинами та механізмами.

Встановлення сучасних систем вентиляції та аспірації для видалення пилу, пари формальдегіду та інших шкідливих речовин із робочої зони.

Застосування герметизації обладнання, особливо на стадіях, де можливо виділення формальдегіду (клеювання, гарячий пресинг).

Впровадження системи локальної витяжної вентиляції у місцях найбільшого виділення шкідливих речовин.

Використання автоматичних систем пожежогасіння, датчиків диму та температури, регулярна перевірка стану протипожежного обладнання.

Обладнання аварійних виходів, евакуаційних шляхів, забезпечення їх вільного доступу 1 .

#### **5. Санітарно-гігієнічні умови праці**

Для збереження здоров'я працівників необхідно дотримуватися таких санітарно-гігієнічних вимог:

Контроль концентрації формальдегіду у повітрі робочої зони (гранично допустима концентрація — не більше 0,5 мг/м<sup>3</sup> для робочих приміщень).

Регулярний лабораторний контроль повітря на вміст пилу та інших шкідливих речовин.

Організація побутових приміщень (гардеробних, душових, кімнат для відпочинку).

Забезпечення працівників питною водою, безкоштовної гігієни.

Організація раціонального режиму праці та відпочинку, надання додаткових перерв для працівників, які працюють у шкідливих умовах.

Проведення циклу медичних оглядів працівників, які контактують із формальдегідом та іншими шкідливими речовинами.

## **6. Пожежна безпека**

Особливу увагу слід приділяти пожежній безпеці через наявність великої кількості горючих матеріалів:

Зберігання деревної стружки, пилу, клеїв та інших легкозаймистих матеріалів у спеціально відведених місцях.

Регулярне очищення виробничих приміщень від пилу та відходів.

Заборона використання відкритого вогню у виробничих цехах.

Проведення інструкторів з пожежної безпеки, навчання правилам користування первинними засобами пожежогасіння.

Обладнання цехів автоматичними системами пожежогасіння, встановлення пожежної сигналізації, забезпечення пожежних щитів, вогнегасників 1 .

## **7. Охорона праці при роботі з формальдегідом**

Формальдегід — високотоксична речовина, яка може викликати гострі та хронічні отруєння, подразнення слизових оболонок, додаткові реакції,

ризик онкологічних захворювань. Тому при роботі з формальдегідними смолами необхідно:

Використовувати ЗІЗ органів дихання (респіратори з фільтрами для органічних пар), захисний одяг, окуляри.

Забезпечити герметизацію ємностей для зберігання смолу, автоматизувати подачу смолу до змішувачів.

Впровадити локальні витяжки над місцями розливу, змішування, нанесення смол.

Організувати регулярний контроль повітря на вміст формальдегіду, особливо в зонах можливого перевищення ГДК.

Забезпечити надання першої медичної допомоги при отруєнні формальдегідом (наявність аптечка, інструкція з надання допомоги, навчання персоналу).

## **8. Охорона праці при використанні обладнання**

Для попередження травматизму при роботі з обладнанням необхідно:

Використовувати огороження рухомих частин машини, блокування, аварійні вимикачі.

Проводити регулярне технічне обслуговування та ремонт обладнання, не допускати використання несправних машин.

Дотримуватись інструкцій безпечно з використанням, не залишаючи працююче обладнання без нагляду.

Заборонення перебування сторонніх осіб у робочій зоні під час роботи обладнання.

Установити чітку сигналізацію про початок роботи пресів, дробарок, транспортерів.

## **9. Охорона праці при транспортуванні та складуванні продукції**

Організувати безпечні маршрути транспортування сировини, напівфабрикатів та готової продукції.

Використовувати механізовані засоби для переміщення важких вантажів.

Забезпечити стійкість штабелів при складанні плити, слідувати допустимій висоті викладання.

Установити знаки безпеки в місцях підвищеної небезпеки (зони руху навантажувачів, штабелювання).

#### **10. Управління охороною праці на підприємстві**

На підприємстві має функціонувати служба охорони праці, яка:

Контроль за дотриманням законодавства з охорони праці.

Проведення атестації робочих місць за умовами праці.

Розслідування нещасних випадків, аналіз причин їх виникнення, розробка профілактичних заходів.

Ведення документації з охорони праці, організації навчання та підвищення кваліфікації працівників у сфері безпеки праці.

#### **11. Висновки до розділу**

Охорона праці у виробництві деревинно-структурних плит є комплексною системою заходів, що охоплює організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, протипожежні та соціальні аспекти. Впровадження сучасних технологій, автоматизація процесів, використання ефективних засобів індивідуального захисту, регулярний контроль за станом виробничого середовища та здоров'ям працівників дозволили мінімізувати ризики для життя і здоров'я персоналу, забезпечити стабільну роботу підприємства та відповідність сучасним екологічним і санітарним стандартам.

## Загальні висновки

- ✓ У бакалаврській роботі розглянуто питання оптимізації технологічних процесів виробництва деревинностружкових плит (ДСП) з метою зниження викидів формальдегіду.
- ✓ Проаналізовано технологічний цикл виробництва ДСП, виявлено основні джерела емісії шкідливих речовин та досліджено їхній вплив на довкілля і здоров'я людини.
- ✓ Окрему увагу приділено характеристиці формальдегідних смол, їхньому складу, властивостям та токсичності.
- ✓ У процесі дослідження встановлено, що значне зниження викидів формальдегіду можливе шляхом:
  - оптимізації рецептури клеєвих складів; удосконалення режимів пресування; технічного покращення систем вентиляції та фільтрації повітря.
- ✓ Розглянуті практичні впровадження технологічних рішень на українських та європейських підприємствах підтверджують ефективність запропонованих заходів.
- ✓ Наведено загальну характеристику виробництва деревинностружкових плит, описано основні стадії технологічного процесу та роль формальдегідних смол у виробництві.
- ✓ Ідентифіковано основні джерела і обсяги викидів формальдегіду у виробничому процесі.
- ✓ Проаналізовано чинні нормативи щодо допустимих викидів формальдегіду та вплив цієї речовини на здоров'я людини і довкілля.
- ✓ Запропоновано технічні рішення для зниження викидів:
  - підбір менш токсичних смол і модифікація рецептур клею;
  - оптимізація режимів пресування (температури, тиску, тривалості);
  - вдосконалення систем вентиляції та очищення повітря. Запропоноване впровадження системи рекуперації формальдегіду. Проведений розрахунок рекупераційної системи.
- ✓ Проведено огляд успішних прикладів впровадження екотехнологій на підприємствах України та Європи.

## Список використаних джерел

1. **Деревні плити: технологія і застосування** / За ред. Ю.І. Білоусова. – К.: Либідь, 2018. – 320 с.
2. **Горбунов А.В. Технологія плитних матеріалів із деревини.** – К.: Основа, 2017. – 280 с.
3. **ДСТУ EN 312:2018.** Плити деревностружкові. Технічні умови.
4. **ДСТУ ISO 12460-5:2017.** Визначення викидів формальдегіду. Метод з використанням газового аналізатора.
5. **Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).**
6. **Formaldehyde emissions from wood products – Current regulations and future trends** / H. Dunky, M. Niemz // Wood Material Science and Engineering. – 2021. – Vol. 16, No. 2. – P. 75–88.
7. **Pizzi A. Advanced Wood Adhesives Technology.** – New York: CRC Press, 2017. – 360 p.

8. **Ільїн В.І., Кравченко Л.І. Охорона праці в деревообробній промисловості.** – Львів: Світ, 2016. – 248 с.
9. **Технічний регламент обмеження викидів летких органічних сполук під час виробництва певних продуктів:** Затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 1171 від 27.12.2017 р.
10. **Звіт Egger Group:** «Екологічна відповідальність та технологічні інновації у виробництві плитних матеріалів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.egger.com>
11. **Звіт Kronospan:** «Зменшення викидів формальдегіду: сучасні рішення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kronospan-worldwide.com>
12. **Environmental and health effects of formaldehyde emissions in wood-based products** / Y. Kim, S. Kim // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 398. – P. 122-128.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток 1.

Методика визначення концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень ТОВ "Krono Ukraine" (м. Брошнів-Осада, Івано-Франківська область), в яких використовуються сечовино-формальдегідні смоли та клеї

Мета роботи: ознайомлення з методикою та приладами для визначення концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень.

### 6.1. Зміст роботи

Ознайомлення з конструкцією та принципом роботи приладів для визначення концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень;

Ознайомлення з методикою визначення концентрації формальдегіду у повітрі виробничих приміщень;

Визначення концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень.

### 6.2. Теоретичні передумови

Основними джерелами виділення формальдегіду в повітря виробничих приміщень та атмосферу на деревообробних підприємствах: цехи з виробництва деревностружкових плит, клеєної фанери, деревноволокнистих плит, личкувальні цехи, приміщення, де здійснюється варіння та приготування сечовиноформальдегідних смол тощо.

Особливо потужним джерелом виділення формальдегіду як у повітря виробничих приміщень, так і в атмосферне повітря є цехи ДСП.

Дослідження вчених Петербурзької лісотехнічної академії, УкрДЛТУ та ін.[5,6,8] засвідчують, що концентрація формальдегіду в повітрі робочих зон виробничих дільниць є не однаковою, вона значно перевищує гранично допустиму концентрацію в декілька разів. Результати дослідження наведені в табл.6.1.

З табл. 6.1 видно, що концентрація формальдегіду в повітрі виробничих приміщень цеху ДСП коливається від 0,54 до 7,6 мг/м<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 1,1-15,2 разів. Найбільше загазованою є дільниця формування стружкового килиму.

Формальдегід відноситься до дуже токсичних хімічних речовин, призводить до важких професійних захворювань (розлад центральної нервової системи, лейкомія, екземи тощо). Розробка заходів і засобів щодо зниження концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень і в атмосфері є однією з актуальних завдань інженерно-технічних працівників

деревообробних підприємств. Для розробки таких заходів особливо важливою є кількісна оцінка ступеня загазованості повітря робочих зон парами формальдегіду.

Таблиця 6.1

Значення фактичних концентрації формальдегіду в повітрі виробничих дільниць цехів ДСП

Найменування виробничих дільниць	Концентрація, мг/м <sup>3</sup>			Перевищення норми, разів
	Фактична	ГФК	Абсолютне перевищення	
Дільниця сушіння деревних частинок	0,54	0,5	0,04	1,1
Дільниця приготування клеїв	1,4	0,5	0,9	2,8
	5,35	0,5	4,85	10,7
Дільниця змішування деревних частинок з клеєм	7,6	0,5	7,1	15,2
Дільниця формування стружкового килиму	2,8	0,5	2,3	5,6
Дільниця пресування плит	4,6	0,5	4,1	9,2
Дільниця форматної обрізки плит	3,5	0,5	3,0	7,0
Дільниця шліфування та витримування плит	3,3	0,5	2,8	6,6
Дільниця сортування плит	0,73	0,5	0,23	1,5
Дільниця розрізання плит	1,75	0,5	1,25	3,5
Склад готової продукції				

В даній роботі пропонується методика визначення концентрації формальдегіду в повітрі виробничих приміщень за допомогою сучасних приладів, хімічних реактивів та матеріалів.

6.3. Прилади, хімічні реактиви та матеріали, що використовуються для виконання роботи.

Для виконання лабораторної роботи використовується:

- 1) Аспіратор для відбору проб повітря;
- 2) Поглинальна колонка Ріхтера (2 шт);
- 3) Сірчана кислота (концентрована);
- 4) Розчин гідроксиду натрію, 20%-ний;
- 5) Розчин йоду 0,1Н;
- 6) Тіосульфат натрію, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.1Н

- 7) Крохмаль, 0,5% розчин;
- 8) Хромотропова кислота (0,1 г кислоти розчиняють в 5% розчину  $H_2SO_4$ , потім додають 125 мл  $H_2SO_4$  концентрованої);
- 9) Стандартний розчин формальдегіду (готують холосту і робочу проби в 2-х колбах на 250 мл).

6.3.1. Конструкція та принцип дії приладів, що використовують для виконання роботи

Для виконання роботи використовують аспіратор, що служить для взяття проб забрудненого повітря. Конструкція, принцип дії та порядок підготовки до роботи аспілятора наведені в роботі №3, тому тут не розглядаються.

Колонка Ріхтера (рис.6.1) застосовується для поглинання формальдегіду активованим вугіллям. Прилад складається із скляного циліндра 1, вхідного патрубку 2, пробки 3, наповнювача 4 і вхідного патрубку 5.

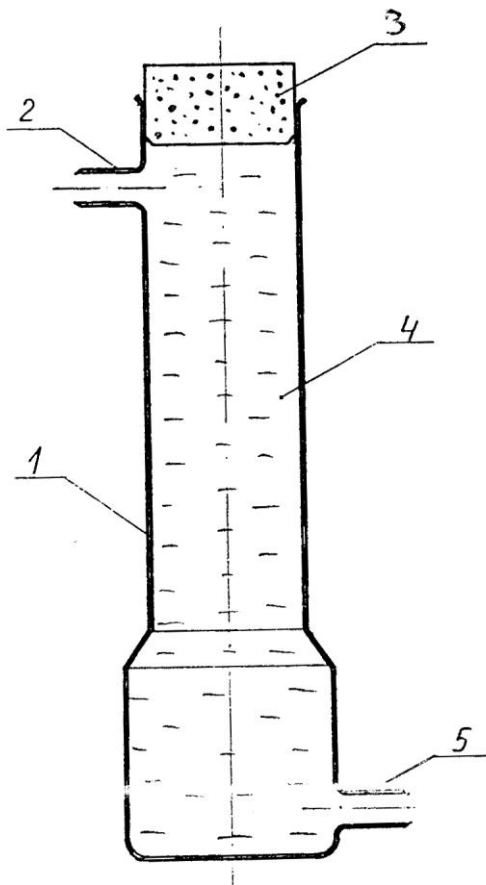


Рис.6.1. Поглинальна колонка Ріхтера:

1- циліндр; 2- вхідний патрубок; 3- пробка; 4- наповнювач;  
5-вихідний патрубок

Принцип роботи колонки Ріхтера наступний: Забруднене формальдегідом повітря з аспіратора подається через вхідний патрубок 2, проходить через активоване вугілля, яке поглинає формальдегід, чисте повітря виходить через патрубок 5.

#### 6.3.2.Порядок приготування стандартного розчину формальдегіду

Готують холосту й робочу проб в двох колбах на 250 мл.

Холоста проба: до 10...15мл дистильованої води додають 10мл 0.1Н розчин йоду, потім підливають краплями 20 % розчину NaOH до світло-жовтого забарвлення. Залишають цей розчин на 10 хв у темному місці . Після цього додають 2 мл 10% HCL і залишають на 10 хв у темному місці.

Робоча проба: до 2 мл 1% формаліну додають 10...15 мл дистильованої води, потім 10мл 0.1Н розчину йоду I<sub>2</sub>, після чого доливають краплями 20 % розчин NaOH до світло-жовтого забарвлення .Витримують цей розчин протягом 10 хв у темному місці. Потім доливають 2 мл 10% HCL і знову залишають 10 хв у темному місці .Холосту й робочу проби титрують 0,1Н розчином тіосульфату натрію до обезбарвлення (з крохмалем).

Різниця між об'ємами тіосульфату натрію що використаний на контрольне титрування та титрування розчину формаліну, дозволяє підрахувати кількість йоду, що був використаний на окислення формальдегіду. 1 мл 0,1Н розчину йоду відповідає 1,5 мл формальдегіду. Визначивши кількість формальдегіду в розчині, готують стандартний розчин, що вміщає 2 мг/мл, а з нього готують розчин, в склад якого входить 0,01 мг/мл формальдегіду.

Досліджуванним середовищем є повітря приміщення, а також атмосферне повітря забруднене формальдегідом.

#### 6.4.Порядок виконання роботи

1) Протягнути 5мл досліджуваного повітря зі швидкістю 0,3 л/хв через дві поглинальні колонки Ріхтера, що вміщають по 5 мл води кожна;

2) Перенести 5мл досліджуваного проби в колориметричну пробірку, додати 3,5 мл хромотропової кислоти, помістити кип'ячу водяну баню, витримувати до появи фіолетового забарвлення;

3) Провести фотометрування при довжині хвилі 584 мм у кюветі з товщиною шару 5мм;

4) Результати досліджень записати в табл.6.2.

Концентрацію формальдегіду необхідно визначити за формулою 6.1, на основі стандартної шкали (табл.6.1)[12]:

$$C = \frac{100 \cdot V_{зр} \cdot B}{V_{ра} \cdot Q_n}$$

де С - концентрація формальдегіду в повітрі робочої зони, мг/м<sup>3</sup>; V<sub>зр.</sub> – загальний об'єм розчину, мл; В – вміст формальдегіду в об'ємі проби, що піддалась аналізу, мкг (приймають за стандартною шкалою табл. 6.2); V<sub>ра</sub> - об'єм розчину, взятий для аналізу, мл; Q<sub>п</sub> – об'єм досліджуваного повітря, приведеного до нормальних умов, л

Пробне повітря у виробничих приміщеннях необхідно відбирати на робочих місцях з врахуванням особливостей технологічного процесу, температурного режиму, кількості летких хімічних речовин, їх фізико-хімічних властивостей, агрегатного стану тощо.

Таблиця 6.2.

Стандартна шкала, при допомозі якої визначають концентрацію формальдегіду

Реактив	Номер стандарту								
Стандартний розчин формальдегіду, 0.01 мг/мл		,05	,1	,2	,4	,6	,8	,0	,0
Вода дистильована, мл		,95	,90	,80	,60	,40	,20	,0	,0
Вміст формальдегіду, мкг		,5	,0	,0	,0	,0	,0	0	0

Контроль за дотриманням максимально разової ГДК проводять при безперервному або послідовному відборі проб протягом 15 хв. Для отримання достовірних результатів у будь-якій точці приміщення в зоні дихання працівника необхідно зробити послідовно не менше 3 проб повітря. Зоною дихання вважається простір навколо голови працівника в радіусі 50 см.