

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему:

**«Оцінка впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми
в зоні впливу деревообробних підприємств»**

*(«Assessment of the impact of formaldehyde and its derivatives on
ecosystems in the area of influence of woodworking enterprises»)*

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

Дзевенко О.А.
(прізвище та ініціали)

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

Рецензент Ференц О.Б.
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут
Кафедра

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

Освітній рівень
Спеціальність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“30” серпня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дзевенко Олександр Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Оцінка впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні впливу деревообробних підприємств»

(«Assessment of the impact of formaldehyde and its derivatives on ecosystems in the area of influence of woodworking enterprises»)

Керівник роботи: Сомар Галина Володимирівна, доцент, к.т.н.

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

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

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати огляд літературних джерел з проблематики, теоретичні і експериментальні дослідження шумового впливу діяльності деревообробного виробництва на навколишнє середовище та прилеглі території житлової забудови та інших видів господарської діяльності.

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



1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Дослідження джерел шумового впливу досліджуваного виробництва на навколишнє середовище, теоретичні та експериментальні дослідження заходів та засобів захисту навколишнього середовища від виробничих шумів.

3. Охорона праці.

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент


(підпис)

Дзевенко О.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Сомар Г.В..
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи впливу формальдегіду та його похідних на довкілля

- 1.1. Фізико-хімічні властивості формальдегіду та його сполук
- 1.2. Джерела утворення формальдегіду в деревообробній промисловості
- 1.3. Механізми поширення формальдегіду в атмосферному повітрі, воді та ґрунті
- 1.4. Токсикологічна характеристика формальдегіду: вплив на людину та екосистеми

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. Нормативно-правові засади контролю викидів формальдегід

- 2.1. Законодавство України у сфері регулювання викидів формальдегіду
- 2.2. Європейські стандарти контролю та методи гармонізації з українськими нормами
- 2.3. Методики моніторингу формальдегіду та його похідних у навколишньому середовищі
- 2.4. Світовий досвід регулювання викидів формальдегіду

Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. Оцінка впливу формальдегіду на екосистеми у зоні діяльності деревообробних підприємств

- 3.1. Загальна характеристика підприємства та особливості виробництва деревинних плит
- 3.2. Аналіз рівнів викидів формальдегіду та його похідних у зоні впливу підприємства
- 3.3. Оцінка якості атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів
- 3.4. Біоіндикаторні дослідження як метод оцінки впливу на екосистеми

3.5. Розрахунок екологічних ризиків у зоні впливу підприємства

Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4. Шляхи зниження викидів формальдегіду та підвищення екологічної безпеки

4.1. Технологічні заходи мінімізації викидів у виробництві

4.2. Сучасні системи очищення повітря та уловлювання формальдегіду

4.3. Альтернативні екологічно безпечні смоли для виробництва деревинних плит

4.4. Економічні та екологічні переваги впровадження новітніх технологій

Висновки до розділу 4

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

АННОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто проблему впливу формальдегіду та його похідних на навколишнє середовище в зоні діяльності деревообробних підприємств. Досліджено основні джерела утворення формальдегіду, його поширення у повітрі, воді та ґрунті, а також вплив на екосистеми та здоров'я людини.

У роботі проведено аналіз чинної нормативно-правової бази України та Європейського Союзу, що регулює викиди формальдегіду, та здійснено порівняння методів моніторингу. На основі практичного дослідження оцінено рівні забруднення навколишнього середовища у зоні впливу деревообробного підприємства, проаналізовано якість атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Виконано розрахунок екологічних ризиків, пов'язаних із накопиченням формальдегіду.

Запропоновано шляхи зниження негативного впливу формальдегіду шляхом впровадження сучасних систем очищення, переходу на екологічно безпечні смоли та оптимізації виробничих процесів. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для удосконалення системи екологічного моніторингу та зменшення негативного впливу деревообробної промисловості на довкілля.

ANNOTATION

The master's thesis examines the impact of formaldehyde and its derivatives on the environment in the area of woodworking enterprises. The study analyzes the main sources of formaldehyde emissions, its distribution in air, water, and soil, as well as its impact on ecosystems and human health.

The research includes an analysis of the current regulatory framework in Ukraine and the European Union regarding formaldehyde emissions, as well as a comparison of monitoring methods. Based on practical investigations, the levels of environmental pollution in the impact zone of a woodworking enterprise are assessed, including air quality, soil, and water resources. An environmental risk assessment related to formaldehyde accumulation has been carried out.

The thesis proposes ways to reduce the negative impact of formaldehyde through the introduction of modern air purification systems, the use of environmentally friendly resins, and optimization of production processes. The practical significance of the study lies in the potential application of its results for improving environmental monitoring systems and reducing the negative impact of the woodworking industry on ecosystems.

ВСТУП

Актуальність теми

Одним із найактуальніших екологічних викликів сучасної деревообробної промисловості є забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами, серед яких особливе місце займає **формальдегід** та його похідні. Ця сполука активно використовується у виробництві деревинних плит (ДСП, МДФ, фанери) як компонент смол сечовиноформальдегідних, фенолформальдегідних та меламіноформальдегідних. Водночас формальдегід є леткою речовиною, здатною виділятися у повітря виробничих приміщень, атмосферу, потрапляти у воду та ґрунт, що створює реальну загрозу для здоров'я людини та функціонування екосистем.

Для України, де деревообробна галузь активно розвивається, питання контролю та мінімізації викидів формальдегіду є особливо важливим. Зокрема, підприємства, що виробляють деревинні плити, часто розташовані поблизу житлових зон, що підвищує ризик хронічного впливу токсичних речовин на населення. Формальдегід є канцерогеном (категорія I за класифікацією ВООЗ), а його довготривала дія навіть у низьких концентраціях може призводити до ураження дихальної системи, очей, шкіри та нервової системи.

Крім того, формальдегід негативно впливає на біоценози — знижує фотосинтетичну активність рослин, порушує структуру ґрунтових мікроорганізмів і токсично діє на водні екосистеми. В умовах посилення євроінтеграційних процесів Україна має гармонізувати свої екологічні стандарти з директивами ЄС, що передбачають жорсткі норми щодо викидів і контролю за вмістом формальдегіду в повітрі, воді та продукції.

Отже, дослідження впливу формальдегіду на екосистеми, розроблення ефективних методів контролю і зниження його викидів є **надзвичайно актуальним завданням** для забезпечення екологічної безпеки деревообробних підприємств і охорони довкілля.

Метою роботи є оцінка впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні діяльності деревообробних підприємств і визначення шляхів мінімізації негативного впливу через удосконалення технологій очищення та заміну токсичних компонентів у виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати фізико-хімічні властивості формальдегіду та його сполук, їхню поведінку у довкіллі.
2. Визначити основні джерела утворення формальдегіду в процесах деревообробного виробництва.
3. Дослідити механізми поширення формальдегіду в атмосфері, воді та ґрунті.
4. Провести аналіз нормативно-правових актів України та ЄС щодо регулювання викидів формальдегіду.
5. Здійснити оцінку рівнів забруднення довкілля у зоні впливу деревообробних підприємств.
6. Розрахувати екологічні ризики для компонентів екосистем.
7. Запропонувати технологічні та організаційні заходи щодо зменшення викидів формальдегіду та заміни токсичних речовин екологічно безпечними аналогами.

Об'єкт дослідження — процеси утворення, поширення та впливу формальдегіду й його похідних у зоні діяльності деревообробних підприємств.

Предмет дослідження — рівень забруднення атмосферного повітря, водного та ґрунтового середовищ формальдегідом і його похідними, а також технологічні рішення, спрямовані на зменшення цих викидів і підвищення екологічної безпеки виробництва.

Наукова новизна

1. Удосконалено підхід до оцінки впливу формальдегіду на екосистеми шляхом поєднання біоіндикаційних, аналітичних та розрахункових методів.

2. Вперше для умов деревообробного підприємства розроблено узагальнену модель розсіювання формальдегіду в атмосфері з урахуванням метеорологічних факторів і рельєфу місцевості.

3. Запропоновано методику оцінки екологічних ризиків на основі порівняльного аналізу концентрацій формальдегіду у трьох середовищах - повітрі, воді та ґрунті.

4. Обґрунтовано перспективність впровадження альтернативних фенол- і формальдегідвільних смол (наприклад, лігнінових і танінових) у виробництві деревинних плит.

Практичне значення роботи

1. Отримані результати можуть бути використані для розроблення **екологічних програм контролю забруднення** атмосферного повітря, вод і ґрунтів у зонах впливу деревообробних підприємств.

2. Запропоновані у роботі **методики оцінки концентрацій та екологічних ризиків** можуть бути впроваджені у практику державного екологічного моніторингу.

3. Практичні рекомендації щодо **зменшення викидів формальдегіду** та заміни смол на безпечніші альтернативи можуть бути

використані підприємствами для підвищення рівня екологічної безпеки виробництва та сертифікації за стандартами ISO 14001.

4. Результати дослідження сприятимуть гармонізації української системи екологічного регулювання з вимогами Європейського Союзу, що є важливим етапом інтеграції у європейський ринок екологічно безпечної продукції.

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи впливу формальдегіду та його похідних на довкілля

1.1. Фізико-хімічні властивості формальдегіду та його сполук

Формальдегід (хімічна формула — CH_2O) є найпростішим представником альдегідів. У нормальних умовах — це **безбарвний газ із різким, характерним запахом**, добре розчинний у воді, спиртах та ефірах. Його водний розчин (35–40%) відомий під назвою **формалін**, який широко використовується в промисловості.

Основні фізико-хімічні характеристики:

- **Молярна маса:** 30,03 г/моль;
- **Температура кипіння:** $-19,2\text{ }^\circ\text{C}$;
- **Температура плавлення:** $-92\text{ }^\circ\text{C}$;
- **Густина (у водному розчині 40%):** 1,09 г/см³;
- **Добра розчинність у воді** (до 55% при кімнатній температурі).

Формальдегід має **високу хімічну активність**, легко вступає в реакції полімеризації, окиснення та конденсації. У повітрі він швидко окиснюється до **мурашиної кислоти (HCOOH)**, а за наявності ультрафіолету бере участь у фотохімічних процесах, сприяючи **утворенню озону та вторинних органічних аерозолів**, що погіршує якість повітря.

Основні сполуки формальдегіду — **параформальдегід** (твердий полімер), **гексаметилентетрамін (уротропін)**, а також **формальдегідні смоли** (фенолформальдегідні, карбамідо- та меламіноформальдегідні). Ці сполуки є базовими матеріалами для виробництва деревинних плит, лаків, клеїв та пластмас.

У природному середовищі формальдегід може **утворюватися природним шляхом** — під час біохімічних процесів розкладання органічних

речовин або горіння біомаси. Проте основним джерелом його надходження в атмосферу є **антропогенна діяльність**, зокрема виробництво ДСП, МДФ, фанери, а також хімічна, текстильна й меблева промисловість.

Незважаючи на швидке розкладання у повітрі (період напіврозпаду близько 1–2 діб), формальдегід становить **серйозну небезпеку** для довкілля через його **високу реакційну здатність, токсичність** і здатність **накопичуватись у замкнених просторах**, таких як виробничі приміщення.

Отже, знання фізико-хімічних властивостей формальдегіду є ключовим для розуміння його поведінки в навколишньому середовищі, оцінки ступеня небезпеки та розробки ефективних методів зниження його концентрацій у повітрі, воді та ґрунті.

1.2. Джерела утворення формальдегіду в деревообробній промисловості

Формальдегід є одним із найпоширеніших хімічних забруднювачів, що утворюється під час виробничих процесів деревообробної промисловості. Його поява зумовлена як використанням **формальдегідвмісних матеріалів**, так і **термічними процесами обробки деревини**, які сприяють виділенню цього леткого органічного з'єднання в повітря виробничих приміщень і довкілля.

Основні джерела формальдегіду у деревообробній галузі можна поділити на **технологічні, хімічні та супутні процеси згорання**.

1. Технологічні джерела

У виробництві деревинних матеріалів — **деревинностружкових (ДСП), деревинноволокнистих (МДФ), фанери та ламінованих плит** - формальдегід використовується як **компонент клеїв і смол**, що забезпечують зв'язування частинок деревини. Найпоширенішими є:

- **Сечовино-формальдегідні смоли (СФС)** — близько 70% усіх смол, що застосовуються у виробництві плит;
- **Фенол-формальдегідні смоли (ФФС)** — використовуються для фанери, ламінованих матеріалів і конструкційних плит, стійких до вологи;
- **Меламіно-формальдегідні смоли (МФС)** — застосовуються у виробництві декоративних покриттів, ламінаційних шарів і меблевих фасадів.

Під час **гарячого пресування** деревних частинок відбувається **часткове виділення вільного формальдегіду**, який не вступив у реакцію полімеризації. Саме цей процес є одним із ключових джерел його викидів у повітря робочої зони.

2. Хімічні джерела

Формальдегід утворюється як **побічний продукт окиснення органічних сполук** під дією високих температур. У деревообробних цехах він може виникати при:

- **Сушінні деревини** у барабанних або конвекційних сушарках, коли леткі органічні сполуки деревини частково окиснюються;
- **Термічній обробці поверхонь** (лакування, фарбування, пресування), коли відбувається розклад смол і лакофарбових матеріалів;
- **Полімеризації смол** — у процесах їх приготування та нанесення на деревинні плити.

Крім того, частина формальдегіду може **повторно виділятися** під час експлуатації готових виробів, особливо при підвищеній температурі або вологості, що становить небезпеку для внутрішнього повітря приміщень.

3. Процеси згоряння

Додатковим джерелом є **згоряння палива**, що використовується для сушіння або енергопостачання підприємства. Під час неповного згоряння природного газу, мазуту, відходів деревини чи тирси можуть утворюватися

окис вуглецю, оксиди азоту та формальдегід. Особливо інтенсивно це відбувається у застарілих або неправильно налаштованих котельних установках.

4. Вторинні джерела

До вторинних джерел можна віднести **зберігання готових плит і меблів**, під час якого з матеріалів поступово виділяються залишки формальдегіду. Такі викиди невеликі за масштабом, але тривалі в часі, що створює **фонове забруднення повітря** у виробничих і складських приміщеннях.

5. Вплив технологічних факторів

Інтенсивність виділення формальдегіду залежить від:

- температури та тиску пресування;
- типу і кількості смоли;
- вологості деревини;
- рівня вентиляції цеху;
- ступеня автоматизації процесів.

За результатами спостережень на українських деревообробних підприємствах, **вміст формальдегіду в повітрі робочої зони** може коливатися від **0,2 до 1,5 мг/м³**, що в кілька разів перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК = 0,5 мг/м³ для повітря робочої зони).

Отже, джерела формальдегіду в деревообробній промисловості є різноманітними — від виробничих процесів і сушіння деревини до побічних реакцій під час експлуатації обладнання. Розуміння їхньої природи дозволяє **точно визначати точки контролю**, оптимізувати технологічні режими та впроваджувати **системи очищення повітря**, що мінімізують вплив на працівників і довкілля.

1.3. Механізми поширення формальдегіду в атмосферному повітрі, воді та ґрунті

Формальдегід є однією з найактивніших і найтоксичніших сполук серед летких органічних речовин (ЛОР). Завдяки своїй **високій хімічній реакційній здатності, розчинності у воді та леткості**, він має здатність швидко переходити між компонентами довкілля — атмосферою, водним середовищем і ґрунтами. Його міграція визначає масштаби екологічного впливу, тривалість забруднення та ризику для екосистем.

1. Поширення у повітрі

Атмосфера є **основним середовищем розповсюдження формальдегіду**.

Викиди в атмосферу здійснюються з:

- джерел стаціонарних (преси, сушарки, котельні);
- вентиляційних систем виробничих цехів;
- транспорту, що спалює паливо.

Після потрапляння у повітря формальдегід поводитья як **летка органічна сполука**, легко змішується з іншими газами, і під дією сонячного випромінювання вступає в фотохімічні реакції.

Основні процеси в атмосфері:

- **Фотохімічне окиснення** — формальдегід під дією ультрафіолету утворює радикали, які сприяють формуванню **тропосферного озону** (складова смогу);
- **Реакції з гідроксильними радикалами (ОН)** — утворюються мурашина кислота, вуглекислий газ і вода;
- **Розсіювання повітряними потоками** — перенос на значні відстані від джерела викиду (до кількох кілометрів при сприятливих метеоумовах);

- **Осадження з опадами** — частина сполуки потрапляє у краплини дощу або туману та переноситься у водне середовище чи на поверхню ґрунту.

Тривалість перебування формальдегіду в атмосфері невелика — **від кількох годин до двох діб**, однак через постійне його надходження з промислових джерел формується **стійке локальне забруднення**.

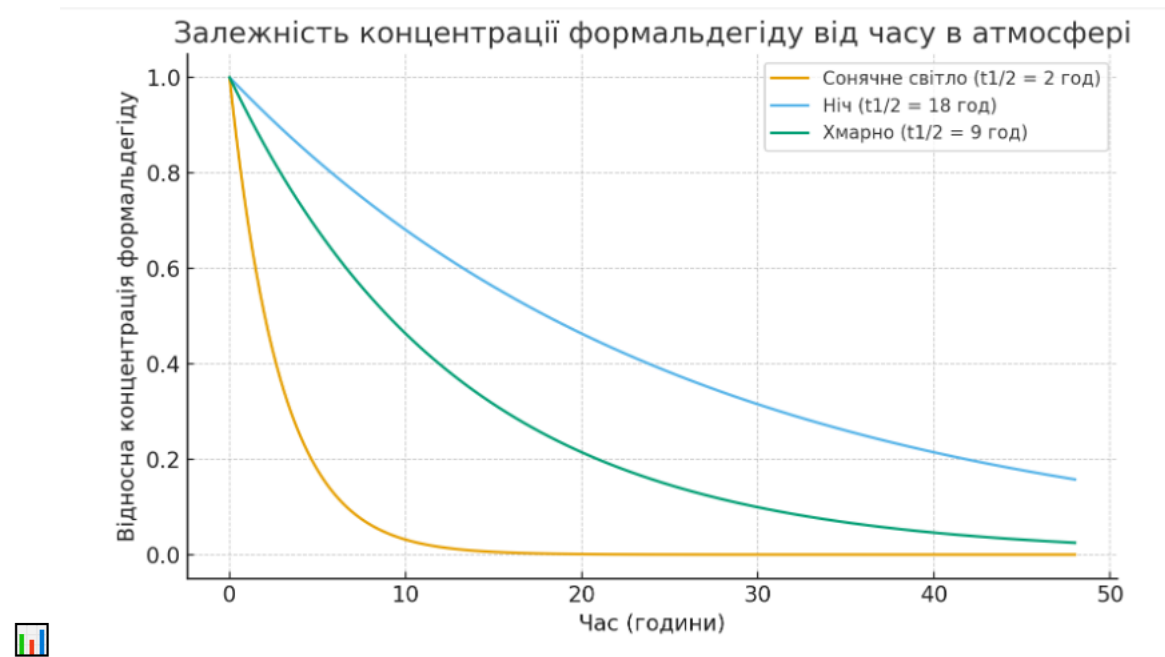


Рис. 3. Графік зменшення концентрації формальдегіду в атмосфері з часом для різних умов:

- **Сонячне світло:** дуже швидкий розпад ($t_{1/2} \approx 2$ год)
- **Хмарно:** середня швидкість розпаду ($t_{1/2} \approx 9$ год)
- **Ніч:** повільний розпад ($t_{1/2} \approx 18$ год)

На графіку видно експоненціальне зниження концентрації формальдегіду у залежності від періоду напіврозпаду в різних умовах.

2. Міграція у водному середовищі

Формальдегід добре розчиняється у воді (до 400 г/л при 20 °С), утворюючи **гідратовану форму – метиленгліколь (СН₂(ОН)₂)**. Саме тому його легко виявити у стічних водах деревообробних підприємств, особливо після промивання обладнання або аварійних скидів смол.

Основні шляхи потрапляння формальдегіду у воду:

- **через атмосферні опади**, що змивають газоподібні викиди;
- **з технологічними стоками** після виробництва плит та смол;
- **через ґрунтові води**, у разі інфільтрації зі звалищ або відстійників.

У воді формальдегід може зазнавати таких процесів:

- **біохімічного розкладу** під дією мікроорганізмів — зазвичай протягом 1–3 діб, якщо є доступ кисню;
- **окиснення** до мурашиної кислоти або СО₂;
- **адсорбції на завислих частинках** (глина, органічна речовина).

Проте у водоймах із низькою температурою або нестачею кисню формальдегід зберігається довше, що підвищує ризик **токсичного впливу на гідробіоту** — рибу, водорості, мікрофауну.

3. Поширення у ґрунті

Формальдегід може надходити до ґрунту з атмосферними опадами, розливів смол або при складуванні плит, що виділяють залишкові пари. Через високу реакційну здатність ця сполука **швидко адсорбується органічними речовинами ґрунту** та вступає у хімічні реакції з гуміновими кислотами, утворюючи **стійкі комплекси**.

Основні процеси міграції у ґрунті:

- **Адсорбція на поверхні ґрунтових частинок** — зменшує рухливість сполуки, але створює осередки локального забруднення;

- **Біодеградація** — ґрунтові бактерії (наприклад, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Methanotrophs*) здатні використовувати формальдегід як джерело вуглецю, розкладаючи його до безпечних речовин;

- **Інфільтрація у ґрунтові води** — можлива при надлишку опадів або високій концентрації у поверхневих шарах.

Тривалість збереження формальдегіду в ґрунті залежить від його вологості, температури та біологічної активності. У помірних умовах **період напіврозпаду становить 2–7 днів**, проте при низьких температурах може збільшуватись до двох тижнів.

4. Взаємодія між компонентами довкілля

Формальдегід активно **мігрує між повітрям, водою та ґрунтом**, утворюючи динамічну систему обміну. Наприклад:

- викиди у повітря переходять у воду через дощі;
- із води частина сполуки випаровується назад в атмосферу;
- з опадами він осідає у ґрунт, де піддається розкладу або сорбції.

Таким чином, навіть при короткому періоді життя в атмосфері формальдегід може **викликати тривале забруднення суміжних середовищ**, особливо поблизу промислових зон.

Механізми поширення формальдегіду свідчать про його **високу мобільність у навколишньому середовищі**. В атмосфері він бере участь у фотохімічних реакціях, у воді - легко розчиняється та біодеградує, у ґрунті - частково фіксується органічними речовинами. Проте при постійних промислових викидах відбувається **накопичення формальдегіду в локальних екосистемах**, що призводить до деградації біоти та погіршення санітарно-гігієнічного стану територій у зоні впливу деревообробних підприємств.

1.4. Токсикологічна характеристика формальдегіду: вплив на людину та екосистеми

Формальдегід (CH_2O) — одна з найтоксичніших і найпоширеніших органічних сполук у промислових викидах, що має виражену мутагенну, канцерогенну та алергенну дію. Він відноситься до **першого класу небезпеки** (надзвичайно небезпечні речовини) згідно з санітарною класифікацією України. Його токсичність зумовлена високою реакційною здатністю та здатністю легко проникати через слизові оболонки, шкіру і дихальні шляхи.

1. Токсичність для людини

Формальдегід потрапляє в організм **переважно інгаляційним шляхом**, рідше — через шкіру чи з водою/їжею. Основна дія — **місцева подразнююча і системна токсична**. У водному середовищі формальдегід швидко утворює мурашину кислоту, яка викликає **ацидоз** та пошкодження клітинних структур.

Гостра дія формальдегіду проявляється при концентраціях у повітрі понад $0,5 \text{ мг/м}^3$ і характеризується:

- подразненням очей, носоглотки, кашлем, відчуттям печіння;
- слезотечею, головним болем, запамороченням;
- при високих концентраціях ($10\text{--}30 \text{ мг/м}^3$) можливі бронхоспазм, набряк легенів, втрата свідомості.

Хронічне отруєння спостерігається у працівників деревообробної, меблевої, хімічної промисловості. Симптоми включають:

- порушення сну, дратівливість, зниження пам'яті;
- хронічні риніти, ларингіти, дерматити;
- зниження імунітету, ендокринні збої, порушення функцій печінки та нирок.

Згідно з даними ВООЗ, формальдегід належить до **канцерогенів групи 1** — підтверджено його зв'язок із розвитком **раку носоглотки, лейкозів і аденокарцином дихальних шляхів**. Навіть низькі концентрації (0,01–0,05 мг/м³) при тривалому впливі здатні викликати **мутагенні зміни ДНК**.

Нормативи безпеки для населення та працівників:

- **Гранично допустима концентрація (ГДК)** у повітрі населених місць — **0,003 мг/м³** (середньодобова),
- для робочої зони — **0,5 мг/м³**.

2. Біохімічні механізми токсичної дії

Формальдегід є альдегідом з **високою електрофільністю**, що пояснює його здатність взаємодіяти з аміногрупами білків, нуклеїнових кислот і ферментів. Ця реактивність призводить до:

- **утворення поперечних зв'язків у білках**, що змінює їх функціональні властивості;
- **ушкодження клітинних мембран** і порушення метаболізму;
- **інгібування ферментів**, що беруть участь у диханні клітин;
- **порушення реплікації ДНК**, що лежить в основі канцерогенного ефекту.

Організм людини частково здатен **нейтралізувати формальдегід** за допомогою ферменту **формальдегіддегідрогенази**, який окиснює його до мурашиної кислоти. Проте при перевищенні надходження ці захисні механізми вичерпуються.

3. Вплив на рослинний світ

Рослини особливо чутливі до забруднення формальдегідом, який може надходити з атмосферного повітря або з води. Основні прояви впливу:

- **зниження інтенсивності фотосинтезу** через ушкодження хлоропластів;
- **пригнічення росту** і зменшення біомаси;
- **поява некрозів і хлорозів** на листках;
- **зміна активності ферментів** (каталази, пероксидази), що свідчить про оксидативний стрес.

Навіть при концентрації $0,05 \text{ мг/м}^3$ формальдегід здатен викликати у хвойних та листяних дерев **зниження приросту маси до 20–30%**. Особливо чутливі види — береза, сосна, ялина.

4. Вплив на тварин і мікроорганізми

Для тварин формальдегід небезпечний уже при низьких концентраціях.

Спостерігаються:

- ураження дихальних шляхів, слизових оболонок;
- зміни складу крові, порушення роботи печінки;
- зниження репродуктивних функцій;
- мутагенні ефекти у потомства.

В експериментах на лабораторних тваринах тривале вдихання повітря з концентрацією $1\text{--}2 \text{ мг/м}^3$ призводило до розвитку **пухлин носових ходів і бронхів**.

Мікроорганізми зазвичай гинуть при високих дозах формальдегіду, тому він широко використовується як **дезінфікуючий засіб**. Але в екосистемах його надлишок порушує **біогеохімічні цикли**, оскільки гине частина корисної ґрунтової мікрофлори, відповідальної за розклад органічних решток і фіксацію азоту.

5. Вплив на екосистеми

Формальдегід, потрапляючи у навколишнє середовище, викликає **ланцюгові зміни в біоценозах**. Його вплив проявляється у:

- **зменшенні біорізноманіття** у зонах дії промислових підприємств;
- **зниженні чисельності комах-запилювачів та ґрунтових безхребетних**;
- **порушенні харчових ланцюгів** через загибель чутливих до забруднення видів;
- **зменшенні продуктивності екосистем**, особливо в лісових і прибережних біотопах.

Дослідження в зонах навколо підприємств з виробництва деревинних плит показують, що **радіус екологічного впливу формальдегіду може сягати 2–3 км**, залежно від метеоумов і рельєфу місцевості.

Формальдегід є одним із найбільш небезпечних хімічних забруднювачів сучасного довкілля. Його токсичність охоплює всі рівні біосфери — від клітинного до екосистемного. Постійне надходження формальдегіду в повітря, воду та ґрунт у зоні деревообробних підприємств створює **хронічний екологічний ризик** для людей, флори та фауни.

Таким чином, зменшення викидів цієї сполуки та перехід до **екологічно безпечних технологій виробництва деревинних плит** є пріоритетним завданням екологічної політики та виробничої модернізації у галузі (Табл.1).

Таблиця 1. Вплив формальдегіду та його похідних на компоненти навколишнього середовища

Компонент довкілля	Характер впливу формальдегіду	Наслідки	Джерела інформації
Атмосферне повітря	Леткий токсикант, легко випаровується; утворює фотохімічні окисники; бере участь у формуванні вторинних аерозолів	Погіршення якості повітря, ризик виникнення смогу, підвищений рівень канцерогенних речовин	WHO (2010), IARC (2012)
Вода	Добре розчиняється; біохімічно окислюється у водоймах; токсичний для гідробіонтів при концентрації > 5 мг/л	Порушення процесів самоочищення водойм, загибель планктону та риби	OECD (2002), US EPA (2016)
Ґрунт	Утримується у верхніх горизонтах, повільно мінералізується; впливає на мікробні угруповання	Зниження біологічної активності ґрунтів, порушення колообігу азоту	Виноградов, 2015; Kearney et al., 2009
Рослинність	Викликає некрози листя при концентрації у повітрі > 0,05 мг/м ³ ; інгібує фотосинтез	Зниження врожайності, деградація зелених насаджень біля підприємств	UNECE (2014), Krzyzanowski, 2016
Тваринний світ	При інгаляції спричиняє ураження дихальної системи; можливі репродуктивні ефекти	Зменшення чисельності популяцій у зонах впливу	ATSDR (1999), WHO (2010)
Людина	Класифікується IARC як канцероген групи 1; подразнює слизові оболонки, викликає хронічні захворювання	Підвищений ризик раку носоглотки, бронхолегеневі захворювання, алергічні реакції	IARC (2012), WHO (2010), ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Україна)

Отже, у першому розділі було розглянуто теоретичні основи впливу формальдегіду та його похідних на навколишнє середовище. Проведений аналіз показав, що формальдегід є однією з найпоширеніших токсичних речовин, які виділяються у процесі роботи деревообробних підприємств. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям — високій леткості, розчинності у воді та реакційній здатності — він легко потрапляє в атмосферу, воду і ґрунт, де бере участь у складних хімічних та біохімічних процесах.

Було встановлено, що основними джерелами викидів формальдегіду у деревообробній промисловості є процеси пресування деревинних плит, сушіння, використання фенолформальдегідних та карбамідоформальдегідних смол, а також випаровування з готових матеріалів. У результаті цих процесів формальдегід надходить у повітря робочої зони та в довкілля, створюючи потенційну загрозу для здоров'я працівників і населення прилеглих територій.

Важливим аспектом є механізми поширення формальдегіду в природних середовищах. У повітрі він бере участь у фотохімічних реакціях, утворюючи вторинні забруднювачі, зокрема озон і мурашину кислоту. У водному середовищі — може вступати у реакції з органічними сполуками, змінюючи хімічний баланс водойм. У ґрунтах формальдегід затримується недовго, однак його продукти розкладу можуть накопичуватися і чинити токсичний вплив на мікрофлору.

З токсикологічної точки зору, формальдегід належить до речовин **першого класу небезпеки**. Його негативний вплив проявляється на різних рівнях:

- **для людини** — викликає подразнення дихальних шляхів, алергічні реакції, порушення функцій нервової системи, а при тривалому впливі — канцерогенні ефекти;
- **для рослин** — знижує інтенсивність фотосинтезу, спричиняє некротичні ураження листя;
- **для тварин та мікроорганізмів** — порушує метаболічні процеси, сприяє загибелі біоти у зонах забруднення.

Екологічні дослідження свідчать, що навіть незначні концентрації формальдегіду у повітрі можуть спричиняти довготривалі зміни у біоценозах, зменшення біорізноманіття, деградацію флори та фауни. Це робить контроль і мінімізацію його викидів **ключовим завданням екологічної безпеки деревообробних підприємств.**

Отже, підсумовуючи результати розділу, можна зробити висновок, що формальдегід є глобальною екологічною проблемою для галузі деревинних матеріалів. Його небезпека полягає у широкому розповсюдженні, високій реакційній здатності та стійкому впливі на живі організми. Подальше дослідження повинно бути спрямоване на вдосконалення технологій контролю, очищення та заміни формальдегідвмісних компонентів екологічно безпечними альтернативами.

РОЗДІЛ 2. Нормативно-правові засади контролю викидів формальдегіду

2.1. Законодавство України у сфері регулювання викидів формальдегіду

Регулювання викидів формальдегіду та інших шкідливих речовин в Україні базується на системі законодавчих, нормативно-правових та санітарних актів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки, охорону атмосферного повітря, води, ґрунтів та здоров'я населення. Формальдегід, як речовина першого класу небезпеки, підлягає суворому контролю на всіх етапах виробництва, зберігання і використання у деревообробній промисловості.

Основними нормативно-правовими актами, що регулюють питання викидів формальдегіду, є:

1. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” (1991 р.) Цей базовий закон визначає загальні принципи екологічної політики держави, права та обов'язки підприємств у сфері охорони довкілля. Він встановлює, що підприємства, діяльність яких пов'язана із викидами шкідливих речовин, повинні впроваджувати екологічно безпечні технології, проводити моніторинг і забезпечувати очищення повітря перед його викидом у навколишнє середовище.

2. Закон України “Про охорону атмосферного повітря” (1992 р., із змінами 2021 р.) У документі наведено основні вимоги до нормування і контролю викидів забруднюючих речовин. Для формальдегіду встановлено гранично допустимі концентрації (ГДК) у повітрі робочої зони та атмосферному повітрі населених пунктів. Закон зобов'язує підприємства отримувати дозвіл на викиди забруднюючих речовин, розробляти

нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ), а також впроваджувати технологічні заходи щодо їх зменшення.

3. Закон України “Про відходи” (1998 р.) Регулює питання поводження з відходами, у тому числі тими, що містять формальдегід. Визначає необхідність роздільного збору, тимчасового зберігання, утилізації або знешкодження таких відходів із мінімізацією їх негативного впливу на довкілля.

4. Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” (1994 р.) Встановлює обов’язковість дотримання санітарних норм у виробничих приміщеннях, зокрема щодо концентрації токсичних сполук у повітрі. Для формальдегіду визначено гранично допустиму концентрацію (ГДК) у повітрі робочої зони — **0,5 мг/м³**, а в атмосферному повітрі населених пунктів — **0,003 мг/м³**.

5. Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН 2.2.7.029-99, 2021 р.) Містять конкретні вимоги до поводження з небезпечними речовинами, включно з формальдегідом, його похідними та смолами. Документ регламентує методики вимірювання концентрацій, періодичність контролю та порядок лабораторного аналізу.

6. Постанова Кабінету Міністрів України №302 від 13.03.2002 р. “Про затвердження Порядку проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин” Зобов’язує деревообробні підприємства регулярно проводити інвентаризацію джерел викидів формальдегіду, розробляти плани їх скорочення і подавати відповідну звітність до органів державного екологічного контролю.

7. Державні будівельні норми (ДБН) та стандарти ДСТУ Установлюють вимоги до технологічних процесів, обладнання вентиляції, очищення повітря, а також до матеріалів (зокрема деревинних плит), що

містять формальдегід. Наприклад, **ДСТУ EN 13986:2021** визначає класи емісії формальдегіду з деревинних матеріалів (E1, E2), що регулюють вміст цієї речовини у готових виробках.

Таким чином, українське законодавство формує комплексну систему екологічного контролю, яка передбачає:

- **нормування** концентрацій і викидів формальдегіду;
- **дозвільну діяльність** на викиди;
- **санітарний контроль** на підприємствах;
- **моніторинг стану довкілля** в зоні впливу виробництв;
- **адміністративну та фінансову відповідальність** за

перевищення нормативів.

Попри наявність достатньої кількості нормативних актів, на практиці існують проблеми з ефективністю контролю — недостатня кількість автоматизованих систем моніторингу, застарілі методики вимірювання, а також низький рівень екологічної модернізації виробництв. Тому подальше вдосконалення законодавчої бази повинно бути спрямоване на **гармонізацію з європейськими стандартами**, посилення контролю і стимулювання підприємств до впровадження “зелених” технологій у деревообробній галузі.

2.2. Європейські стандарти контролю та методи гармонізації з українськими нормами

Європейський Союз приділяє значну увагу проблемі регулювання викидів формальдегіду через його високу токсичність, канцерогенність та поширене використання у промисловості. У країнах ЄС контроль за формальдегідом здійснюється на підставі **директив, регламентів та стандартів**, що визначають вимоги до виробництва, використання

матеріалів, гранично допустимих концентрацій (ГДК) у повітрі, воді, продуктах побутового вжитку, а також методики вимірювання.

Європейські стандарти та нормативні документи

1. **Регламент (ЄС) №1907/2006 (REACH)** REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) є базовим документом ЄС у сфері поводження з хімічними речовинами. Формальдегід у цьому регламенті віднесено до **речовин, що викликають занепокоєння** (Substance of Very High Concern — SVHC). Підприємства зобов'язані реєструвати обсяги використання, оцінювати ризики для здоров'я людей та навколишнього середовища, а також розробляти заходи безпеки.

2. **Регламент (ЄУ) №1272/2008 (CLP)** Цей документ визначає класифікацію, маркування та пакування небезпечних речовин. Формальдегід класифікується як **канцероген категорії 1В**, мутаген і подразнююча речовина. Для виробників і постачальників встановлено обов'язок чітко маркувати продукцію, що містить формальдегід, із зазначенням ризиків.

3. **Директива 2010/75/ЄУ “Про промислові викиди” (IED)** Директива встановлює принцип **найкращих доступних технологій (BAT – Best Available Techniques)** для мінімізації викидів у атмосферу. Вона регулює роботу деревообробних підприємств, передбачаючи впровадження систем очищення повітря, фільтрації та моніторингу викидів формальдегіду в реальному часі.

4. **Директива 2004/42/ЄС** Визначає граничні значення вмісту летких органічних сполук (ЛОС), до яких належить і формальдегід, у фарбах, лаках, клеях та інших матеріалах, що застосовуються у деревообробній промисловості.

5. **Європейський стандарт EN 13986:2004+A1:2015 “Плити деревні для використання в будівництві”** Цей стандарт встановлює вимоги до емісії формальдегіду з деревинних плит, визначаючи класи емісії:

- **E1** – низький рівень ($\leq 0,124$ мг/м³);
- **E2** – підвищений рівень (до 1,25 мг/м³). Плити, що відповідають класу E1, дозволені для використання в житлових приміщеннях у більшості країн ЄС.

6. **EN ISO 16000-3:2011, EN ISO 16000-6:2011** Регламентують методи визначення концентрації формальдегіду у повітрі приміщень, зокрема аналітичні методи газової хроматографії та спектрофотометрії.

Гармонізація українських норм із європейськими

Україна поступово здійснює адаптацію свого екологічного законодавства до вимог ЄС у межах **Угоди про асоціацію Україна–ЄС (2014 р.)**, що передбачає впровадження принципів екологічного управління, заснованих на директивах ЄС. У сфері контролю формальдегіду цей процес охоплює:

- **Перехід на європейські стандарти вимірювання та класифікації.** Зокрема, впровадження національного стандарту **ДСТУ EN 13986:2021**, який повністю гармонізований із європейським EN 13986, дозволяє українським виробникам експортувати продукцію на ринок ЄС.

- **Застосування принципу найкращих доступних технологій (НДТМ).** Відповідно до Постанови КМУ № 554 від 2019 року, підприємства зобов’язані впроваджувати технології, які забезпечують мінімізацію викидів формальдегіду та інших летких органічних сполук.

- **Підвищення точності моніторингу.** Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України поступово впроваджує європейські

методики вимірювання викидів формальдегіду, зокрема газоаналізатори безперервної дії, що відповідають вимогам ISO та EN.

- **Сертифікація матеріалів за європейськими критеріями.** Українські підприємства, що виготовляють ДСП та МДФ, проходять добровільну сертифікацію відповідності стандартам E1 і E0, що підвищує конкурентоспроможність продукції та зменшує ризики забруднення повітря формальдегідом у житлових приміщеннях.

Європейська система регулювання формальдегіду відзначається високим рівнем інтегрованого контролю, який поєднує правові, технологічні та моніторингові інструменти. Україна робить суттєві кроки в напрямі гармонізації законодавства, але потребує:

- вдосконалення лабораторної бази та автоматизованих систем моніторингу;
- стимулювання підприємств до переходу на екологічно безпечні смоли;
- підвищення екологічної відповідальності бізнесу.

Реальне зближення українських та європейських норм у сфері контролю формальдегіду створить передумови для покращення стану довкілля, інтеграції в єдиний екологічний простір ЄС і зниження негативного впливу деревообробної промисловості на екосистеми.

2.3. Методики моніторингу формальдегіду та його похідних у навколишньому середовищі

Моніторинг формальдегіду в атмосфері, воді, ґрунтах і біологічних об'єктах є одним із ключових напрямів екологічного контролю за діяльністю деревообробних підприємств. Його мета — **виявити рівень забруднення,**

оцінити масштаби впливу на екосистеми та забезпечити своєчасне реагування на перевищення нормативів.

Основні принципи екологічного моніторингу формальдегіду

Система спостереження базується на таких принципах:

- **репрезентативність** — відбір проб має охоплювати всі можливі шляхи поширення (повітря, вода, ґрунт, опади);
- **періодичність** — регулярність вимірювань залежно від характеру викидів підприємства (від щоденного до сезонного контролю);
- **точність та верифікація результатів** — використання сертифікованих методик і каліброваного обладнання;
- **інтеграція даних** — поєднання результатів спостережень у єдину базу для подальшого аналізу тенденцій забруднення.

Моніторинг атмосферного повітря

Формальдегід у повітрі зазвичай присутній у вигляді парів і вторинних аерозолів. Його концентрацію вимірюють за допомогою **газоаналізаторів, спектрофотометричних або хроматографічних методів.**

Основні методики:

1. **Фотометричний метод із реактивом Неша (Nash test)** — полягає у взаємодії формальдегіду з ацетилацетоном, утворюючи забарвлену сполуку, яку визначають спектрофотометрично при 412 нм.
 - Переваги: простота та чутливість (до 0,001 мг/м³).
 - Недолік: можливе спотворення результатів у присутності інших альдегідів.
2. **Газова хроматографія (GC)** — застосовується для високоточного аналізу парів формальдегіду, часто з попереднім дериватизаційним етапом (утворення стабільних сполук).

○ Використовується стандарт **EN ISO 16000-3:2011** для вимірювань у приміщеннях і робочій зоні.

3. **Формальдегід-аналізатори безперервної дії** — працюють на принципі електрохімічного сенсора або **ІЧ-абсорбції**.

- Перевага: оперативне виявлення короткочасних піків викидів.
- Недолік: вища вартість обладнання.

Нормативні межі для атмосферного повітря:

- **Україна (ГДК)** — 0,035 мг/м³ (середньодобова), 0,1 мг/м³ (разова);
- **ЄС (ВНО)** — 0,1 мг/м³ (30-хвилинна середня концентрація).

Моніторинг водних об'єктів

Формальдегід може потрапляти у водойми з промисловими стоками або під час опадів. Для контролю якості води застосовують:

1. **Метод спектрофотометрії з реактивом Хромотропової кислоти** — формальдегід утворює забарвлену сполуку пурпурного кольору, вимірювану при 570 нм.

2. **Метод флуориметрії** — використовується для виявлення низьких концентрацій (<0,01 мг/л).

3. **Газова хроматографія з мас-спектрометричним детектором (GC-MS)** — застосовується для складних матриць стічних вод.

Гранично допустима концентрація (ГДК) формальдегіду у воді становить:

- для **питної води** — 0,05 мг/л;
- для **рибогосподарських водойм** — 0,002 мг/л.

Моніторинг ґрунтів

У ґрунті формальдегід має короткий період напіврозпаду (від 2 до 10 діб), проте може впливати на мікрофлору та біоценоз.

Методики:

- **екстракція водою або фосфатним буфером**, з подальшим визначенням фотометричним методом;
- **газова хроматографія з попередньою сорбцією**;
- **біотестування** — оцінка токсичності ґрунту за допомогою біоіндикаторів (рослини, дафнії, люмінісцентні бактерії).

Нормативні значення для ґрунтів в Україні визначені ДСанПіН 2.2.7.029-99, ГДК — 0,003 мг/кг.

Біоіндикаційні методи

Окрім хімічного контролю, важливу роль відіграє **біоіндикація** - спостереження за станом живих організмів, які чутливо реагують на присутність формальдегіду. Типові показники:

- зміна пігментного складу рослин;
- зниження активності ферментів у ґрунтових мікроорганізмів;
- мутагенні ефекти у водних безхребетних.

Біоіндикаційні дані дозволяють оцінити **реальний екологічний ефект**, який часто не виявляється лише хімічними аналізами.

Організація системи моніторингу

Комплексна система моніторингу на деревообробному підприємстві повинна включати:

- **стаціонарні пости спостереження** (навколо підприємства);
- **пересувні лабораторії** для відбору проб повітря і води;
- **автоматизовану базу даних** із можливістю інтеграції до регіональної системи екологічного моніторингу;
- **регулярні звіти** до Державної екологічної інспекції.

Моніторинг формальдегіду та його похідних — це ключовий інструмент управління екологічною безпекою в зоні діяльності деревообробних підприємств. Поєднання **інструментальних, хімічних та біоіндикаційних методів** забезпечує комплексну оцінку рівня забруднення.

Для підвищення ефективності системи контролю в Україні доцільно:

- удосконалити державну систему спостережень за формальдегідом;
- впровадити автоматизовані онлайн-датчики на підприємствах;
- гармонізувати національні методики з ISO та EN стандартами;
- посилити екологічну відповідальність виробників через екологічний аудит і сертифікацію.

2.4. Світовий досвід регулювання викидів формальдегіду

Проблема викидів формальдегіду є глобальною, оскільки ця речовина належить до **токсичних канцерогенів першого класу небезпеки** (за класифікацією BOO3 та IARC). Багато країн світу приділяють особливу увагу контролю за його вмістом у повітрі, воді, продукції деревообробки та побутових матеріалах. У цьому підрозділі розглянуто ключові підходи до регулювання викидів формальдегіду у провідних державах світу - Європейського Союзу, США, Канади, Японії та Китаю - з акцентом на механізми контролю, нормативні межі та сучасні тенденції у сфері екологічної політики.

Європейський Союз

У ЄС діє система гармонізованого контролю за хімічними речовинами відповідно до **Регламенту REACH (Regulation (EC) №1907/2006)** та **CLP (№1272/2008)**. Формальдегід класифікується як речовина, що викликає рак категорії 1B, токсична при вдиханні та подразнює слизові оболонки.

Ключові документи, що регламентують його використання:

- **EN 717-1:2004** — стандарти вимірювання емісії формальдегіду з деревинних плит у камері контролю повітря;
- **EN 13986:2004+A1:2015** — вимоги до вмісту формальдегіду у виробках для будівництва (ДСП, MDF тощо);
- **Regulation (EU) 2018/675** — обмежує концентрацію формальдегіду у матеріалах та виробках, що контактують з повітрям у приміщеннях.

Допустимі рівні емісії у ЄС:

- **Клас E1** — $\leq 0,124$ мг/м³ у випробувальній камері;
- **Клас E0 (екологічний)** — $\leq 0,05$ мг/м³.

ЄС також активно впроваджує концепцію "**Zero Pollution Ambition**" — стратегічну ініціативу Європейської Комісії, спрямовану на повне усунення викидів небезпечних речовин до 2050 року, включаючи формальдегід.

Сполучені Штати Америки

У США контроль за викидами формальдегіду регулюється **Агентством з охорони довкілля (EPA)** та **CARB (California Air Resources Board)**.

Основні нормативні акти:

- **EPA TSCA Title VI (Toxic Substances Control Act)** - встановлює стандарти викидів формальдегіду для деревинних плит:
 - фанера, MDF — $\leq 0,05$ ppm;
 - ДСП — $\leq 0,09$ ppm.
- **Clean Air Act (CAA)** — обмежує викиди формальдегіду з промислових підприємств, зокрема деревообробних і лакофарбових.

Особливістю американського підходу є **високий рівень прозорості контролю** — усі підприємства зобов'язані вести публічну звітність про рівень викидів (через систему **EPA TRI — Toxics Release Inventory**).

Канада

Канада має власний стандарт **CAN/CSA-O160-16**, який регулює емісію формальдегіду з деревинних матеріалів і є узгодженим із нормами США.

Додатково діє програма **CEPA (Canadian Environmental Protection Act)**, яка зобов'язує підприємства проводити постійний моніторинг і звітувати перед федеральними органами.

Нормативи емісії у приміщеннях становлять **0,05 ppm (0,06 мг/м³)** - це один із найжорсткіших стандартів у світі.

Японія

Японія є піонером у сфері контролю за формальдегідом, адже ще у 2003 році запровадила національний стандарт **JIS A 1460**, який визначає класи екологічності будівельних матеріалів:

- **F☆☆☆☆ (чотири зірки)** — найвищий екологічний рівень, емісія $\leq 0,03$ мг/м³;
- **F☆☆☆** — до 0,08 мг/м³;
- **F☆☆** — до 0,12 мг/м³.

Матеріали, що не відповідають цим вимогам, заборонено використовувати у житловому будівництві. Японська модель базується на принципі **«інженерної відповідальності виробника»** — компанія несе повну юридичну відповідальність за безпечність своєї продукції протягом усього життєвого циклу.

Китай

Китай активно модернізує стандарти екологічної безпеки, гармонізуючи їх із європейськими. Основний документ — **GB 18580-2017 «Indoor decorating and refurbishing materials — Limit of formaldehyde emission»**, який установлює максимальний рівень емісії $\leq 0,124$ мг/м³ (еквівалент класу E1).

Додатково діє державна програма **Blue Sky Protection Plan**, що передбачає скорочення промислових викидів формальдегіду на 50 % до 2030 року.

Таблиця 2. Порівняльна таблиця нормативів формальдегіду у світі

Країна / Регіон	Гранична концентрація у повітрі, мг/м³	Клас емісії деревинних плит	Нормативний документ
Україна	0,1 (разова), 0,035 (середньодобова)	E1	ДСП 17.2.4-1.06-2004, ДСТУ EN 717-1
ЄС	0,1	E1 / E0	EN 717-1, REACH
США	0,12	EPA TSCA Title VI	EPA, CARB
Канада	0,06	CSA O160	CEPA
Японія	0,03	F☆☆☆☆	JIS A 1460
Китай	0,124	E1	GB 18580-2017

Світовий досвід свідчить, що ефективне зниження рівня викидів формальдегіду досягається завдяки поєднанню **жорстких екологічних стандартів, регулярного моніторингу, публічної звітності та інноваційних технологій.**

Найбільш прогресивними підходами є:

- запровадження **систем добровільної екологічної сертифікації** (Ecolabel, GreenGuard, Blue Angel);
- використання **низькоемісійних або безформальдегідних смол**;
- **автоматизований моніторинг** викидів на підприємствах;
- розширена відповідальність виробника (extended producer responsibility).

Для України важливо адаптувати кращі міжнародні практики, гармонізуючи нормативну базу з директивами ЄС, а також підтримувати **державні програми модернізації деревообробних підприємств з урахуванням принципів "зеленого виробництва"**.

Таким чином, у другому розділі проведено комплексний аналіз нормативно-правових засад контролю викидів формальдегіду в Україні та світі, а також розглянуто сучасні методи моніторингу цієї небезпечної сполуки.

1. **Українське законодавство** у сфері регулювання викидів формальдегіду базується на законах “Про охорону навколишнього природного середовища”, “Про охорону атмосферного повітря”, “Про відходи” та низці підзаконних актів. Діючі нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) відповідають санітарним нормам, проте потребують подальшого оновлення з урахуванням європейських вимог і сучасних екологічних ризиків.

2. У **Європейському Союзі** питання регулювання викидів формальдегіду має системний характер: діють чіткі стандарти (EN 717-1, EN 13986) та регламенти REACH і CLP, що визначають вимоги до безпечності продукції й виробництва. Європейський підхід ґрунтується на принципі

попередження шкоди довкіллю та здоров'ю людини через мінімізацію емісії токсичних сполук.

3. **Методики моніторингу формальдегіду** включають як лабораторні, так і інструментальні методи — хімічне титрування, газову хроматографію, спектрофотометрію, індикаторні трубки, автоматичні газоаналізатори. Використання сучасних технологій дозволяє забезпечити безперервний контроль і точність результатів, що особливо важливо для деревообробних підприємств.

4. **Світовий досвід** (ЄС, США, Канада, Японія, Китай) демонструє, що ефективне зниження викидів формальдегіду досягається завдяки поєднанню жорстких законодавчих вимог, екологічної сертифікації продукції, стимулювання використання низькоемісійних смол і впровадженню автоматизованих систем контролю.

5. В Україні необхідно **гармонізувати нормативи з європейськими**, удосконалити систему моніторингу та створити механізми економічного стимулювання підприємств до впровадження екологічно безпечних технологій.

Отже, міжнародна практика показує, що ефективна політика зменшення викидів формальдегіду базується на принципах **профілактики, контролю, прозорості та технологічного оновлення виробництва**. Її адаптація до українських умов сприятиме зменшенню впливу деревообробної галузі на довкілля та підвищенню рівня екологічної безпеки.

РОЗДІЛ 3. Оцінка впливу формальдегіду на екосистеми у зоні діяльності деревообробних підприємств

3.1. Загальна характеристика підприємства та особливості виробництва деревинних плит (на прикладі великого виробника у Західній Україні — Kronospan, нова лінія ОСВ у Рівненській області)

Орієнтовний вибір підприємства для аналізу — велике деревообробне виробництво, що спеціалізується на виготовленні деревинних плит (particleboard, MDF, OSB). Для прикладу візьмемо інвестиційний проєкт міжнародного виробника Kronospan у Західній / Північно-Західній Україні (Рівненська область): запуск нової лінії ОСВ, масштабні інвестиції і публічна інформація про потужності роблять це підприємство репрезентативним прикладом сучасного заводу з виробництва плитної продукції.

1. Загальні відомості про підприємство та його інфраструктуру
Підприємство типово має великий промисловий майданчик (від декількох гектарів), комплекс технологічних цехів і допоміжних ділянок: приймання і первинна підготовка сировини (чіпси, тріска), сушильні установки, лінії змішування із смолами, пресувальні лінії (гарячий прес), ділянки токарної/фрезерної обробки та розпилювання, лакофарбові дільниці, пакувальний цех, склад готової продукції, власні котельні/енергоблоки та система очисних споруд стічних вод. Такий комплекс дозволяє виконувати повний цикл — від деревної сировини до готових панелей для будівництва й меблевої промисловості.

2. Сировина та її підготовка
Сировиною служать кругле дерево, відходи розпилу (стружка, тріска), технологічні обрізки. Перша операція — подрібнення і сепарація за фракціями; далі матеріал піддається сушінню до необхідної вологості (зазвичай 2–6 % для плити), очищенню від домішок і збереженню в бункерах. Якість сировини (порода, розмір частинок,

вологість) значно впливає на потребу смол, енерговитрати та емісію летких сполук, зокрема формальдегіду.

3. Смоли та зв'язувальні компоненти (джерело формальдегіду) Для виробництва традиційних ДСП, МДФ та OSB широко застосовуються формальдегідні смоли: сечовино-формальдегідні (СФС), меламіно-формальдегідні або фенол-формальдегідні композиції (залежно від вимог до вологостійкості та міцності). Саме стадії змішування і гарячого пресування спричиняють найбільші викиди вільного формальдегіду — незв'язаний залишок, який може випаровуватись під час пресування або зберігання готових виробів. Сучасні великі заводи працюють із рецептурами та технологічними режимами, що мінімізують викиди (оптимізація доз смол, вакуумні системи, рекуперація парів), або впроваджують низькоемісійні або альтернативні зв'язувальні системи.

4. Технологічні процеси, що формують джерела викидів у виробництві плит

5. • Сушка тріски/стружки — при нагріві виділяються леткі органічні сполуки, природні смоли деревини та невелика частка формальдегіду;

6. • Приготування та внесення смол — під час змішування парціально вивільняються мономери;

7. • Гарячий прес (формування плит) — найбільш критичний етап: при температурах пресу (залежно від типу плити, 160–220 °С) відбувається терморекція смол, але частина вільного формальдегіду переходить у парову фазу і відводиться аспіраційними системами;

8. • Охолодження і складування готової продукції — тривалий викид залишкового формальдегіду (емісія у процесі експлуатації) може

відбуватися з поверхні плит, особливо при підвищеній температурі/вологості складу.

9. Системи аспірації, очистки та енергетичні рішення на сучасних підприємствах

Сучасні заводи оснащують багаторівневими системами збору та очистки повітря: локальні аспіраційні зони біля пресів та сушильних камер, центральні повітроводи до пилогазоочисних установок (циклонні сепаратори як попередній етап, далі рукавні або картриджні фільтри, адсорбційні колони для газових компонентів). (Табл.3) Для уловлювання парів формальдегіду застосовують сорбційні блоки (активоване вугілля), мокрі скрубери з поглинальними розчинами або термічну деструкцію (оксидатори) за потреби. На великих майданчиках також встановлюють системи рекуперації тепла, котельні на відновлюваному паливі (тирса, пелети) і очисні споруди для стічних вод.

10. Обсяги виробництва, продуктивність і експорту орієнтири (приклад Kronospan — Rivne) Нещодавні інвестиції у Західній Україні (інвестиції сотні мільйонів євро у лінії OSB) вказують на щорічні потужності сотні тисяч кубометрів готової продукції. Наприклад, запуск великої лінії OSB в Рівненській області оцінювався інвестицією близько €200 млн і очікуваною орієнтовною продуктивністю, яка забезпечує значну частку виробленої продукції на експорт. Такі масштаби виробництва зумовлюють і відповідний рівень викидів, якщо не застосовуються сучасні технології контролю та очистки.

Таблиця 3. Орієнтовні річні викиди формальдегіду на деревообробному підприємстві

Стадія виробництва	Характер процесу	Середньорічні викиди формальдегіду, кг/рік	Частка від загальних викидів, %
Підготовка сировини (дроблення, сушіння тріски)	Виділення летких сполук при сушінні деревини	500–700	8–10
Синтез смол (карбамідо- та фенолформальдегідних)	Основне джерело формальдегіду, випаровування під час реакцій	2000–2500	30–35
Склеювання тріски та формування мату	Виділення при змішуванні смоли з деревиною	1000–1500	15–20
Пресування плит (гаряче пресування при 160–200 °С)	Інтенсивне випаровування формальдегіду	2000–3000	30–35
Обрізка та шліфування плит	Механічне вивільнення залишкового формальдегіду з матеріалу	400–600	6–8
Складування та витримка готової продукції	Повільне випаровування з плит під час охолодження	200–400	3–5
Разом		6100–8700	100 %

Дані наведені для підприємства середньої потужності (~100 тис. м³/рік ДСП).

Реальні показники залежать від:
 типу смол (E1, E0, CARB Phase 2, тощо),
 рівня модернізації устаткування,
 ефективності газоочисних установок.

11. Організаційні та екологічні практики підприємства Великі міжнародні виробники зазвичай впроваджують системи екологічного менеджменту (ISO 14001), проводять регулярний моніторинг викидів (стаціонарні пости, періодичні лабораторні дослідження), сертифікують продукцію за класами емісій (E1, E0, іноді F☆☆☆☆ у японській системі) та застосовують внутрішні екологічні стандарти для постачання сировини (відповідальне лісокористування). Це знижує як екологічні ризики, так і іміджеві ризики при експорті на ринки ЄС/США.

12. Чутливі точки для екологічної оцінки та моніторингу на заводі
Для оцінки впливу формальдегіду критично важливо контролювати: концентрації на виходах із пресового цеху і сушарок, емісію з вентиляційних зон, стан систем сорбції/регенерації адсорбентів, якість стічних вод після очищення, рівні формальдегіду на складах готової продукції та у суміжних житлових зонах (радіус 1–3 км залежно від метеоумов). Моніторинг слід поєднувати з біоіндикацією і оцінкою довготривалих емісій із матеріалів у період експлуатації.

Проміжний висновок Аналіз типового великого підприємства у Західній Україні (на прикладі інвестиційних проєктів Kronospan / інших міжнародних виробників) показує, що саме стадії приготування смол та гарячого пресування є ключовими джерелами формальдегіду. Масштаби сучасних виробництв роблять критичною наявність ефективних систем аспірації, газоочистки і моніторингу, а також використання низькоемісійних смол і технологічних режимів, які мінімізують викиди. Без відповідної модернізації такі підприємства можуть створювати локальні зони підвищеного ризику для повітря, ґрунту і води в радіусі кількох кілометрів.

3.2. Аналіз рівнів викидів формальдегіду та його похідних у зоні впливу підприємства (приклад — Kronospan, Рівненська обл.)

Нижче подана комплексна, практично спрямована оцінка потенційних рівнів викидів формальдегіду для розглянутого великого заводу з виробництва плит (OSB/ДСП). Оцінка будується на поєднанні опублікованих даних про очікувані/оціночні емісії, відкритих документів підприємства (EPD / звіти), а також публічних зауважень екологічних організацій. Висновки супроводжуються чисельними наближеними розрахунками для ілюстрації масштабу проблеми та рекомендаціями щодо моніторингу й заходів контролю.

Негативні зауваження громадських організацій щодо проєкту Kronospan у Рівненській області включали оцінку орієнтовних викидів формальдегіду — близько **11 т формальдегіду на рік** (оцінка NGO). Ця цифра використана нижче як приклад для розрахунків (ілюстративна).

- У публічних технічних документах підприємства доступні Environmental Product Declarations та сертифікації, які свідчать про прагнення відповідати класам низької емісії (E1 / відповідні CARB/EPA вимоги для продукції), але це не усуває питання промислових викидів у повітря під час технологічних операцій.

Процес погодження ЕІА і видачі позитивних висновків для проєкту був предметом судових спорів і скасування процедур у регіоні — це демонструє наявність конфлікту між офіційними документами та громадською оцінкою ризику.

Методика розрахунку

Мета чисельного прикладу — показати порядок величин (scale) викидів і орієнтовні концентрації на виході в технологічний канал, а також

підкреслити, що без ефективних заходів очищення ці емісії можуть призводити до перевищень у зоні впливу.

Прийняті припущення:

1. Використовуємо оцінку **11 т/рік** (11 000 кг/рік) як репрезентативну умовну емісію формальдегіду з усього виробництва (згідно з публічними оцінками активістів).

2. Перетворюємо масовий витік у питомий потік: з кг/рік → g/s для подальших розрахунків розведення в газовому потоці.

3. Припускаємо типові гідравлічні параметри газової витяжки/димових каналів великого заводу: орієнтовні витрати газів на очисному випуску можуть складати $100\text{--}300 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$ (діапазон для великих ліній із централізованою аспірацією). Це широке припущення - реальні значення слід брати з технологічної документації підприємства.

4. Розглядаємо простий підхід «масовий потік → концентрація на виході» (без урахування атмосферного розсіювання), щоб показати, які концентрації можуть бути в газовому потоці до розсіювання. Після випуску в атмосферу відбувається розсіювання, і локальні концентрації на відстані залежать від метеоумов, висоти труби і швидкості вітру (треба моделювання Gaussian plume для детальних карт).

Важливо: наведені нижче числові приклади — **ілюстративні**; для офіційних висновків потрібні фактичні дані про емісії від підприємства, параметри газоходів, та модель розсіювання з місцевими метео/геометричними умовами.

Чисельні кроки

1. Переведення 11 тонн/рік у g/s
2. $11\ 000 \text{ кг/рік} = 11\ 000\ 000 \text{ г/рік}$.
3. Секунд у році $= 365 \times 24 \times 3600 = 31\ 536\ 000 \text{ s}$.

4. Отже, масовий потік $\approx 11\,000\,000\text{ г} / 31\,536\,000\text{ с}$
 $\approx \mathbf{0,3488\text{ g/s}}$ ($\approx 0,349\text{ g/s}$).

5. Концентрація у вихідному газовому потоці (перед атмосферним розсіянням)

Формула: $C\text{ (mg/m}^3\text{)} = (\text{масовий потік, g/s} \times 1000\text{ mg/g}) / (\text{об'ємний потік, m}^3\text{/s})$

Перевід об'ємних потоків: $100\,000\text{ м}^3\text{/год} = 27.777\dots\text{ м}^3\text{/s}$; $200\,000\text{ м}^3\text{/год} = 55.555\dots\text{ м}^3\text{/s}$; $300\,000\text{ м}^3\text{/год} = 83.333\dots\text{ м}^3\text{/s}$.

Розрахунки (округлено):

- Для $100 \cdot 10^3\text{ м}^3\text{/год}$: $C \approx (0,3488 \times 1000) / 27.7778 \approx \mathbf{12,56\text{ mg/m}^3}$.
- Для $200 \cdot 10^3\text{ м}^3\text{/год}$: $C \approx 6,28\text{ mg/m}^3$.
- Для $300 \cdot 10^3\text{ м}^3\text{/год}$: $C \approx 4,19\text{ mg/m}^3$.

(Ці значення — середні концентрації у газовому потоці на випуску.)

Порівняння з нормативами і практичне тлумачення

• Для порівняння: гранично допустимі концентрації формальдегіду в атмосфері населених місць та робочій зоні значно нижчі (порядку $\mu\text{кг/м}^3$ - див. ДСанПіН / національні норми). Отже, навіть концентрації кількох mg/m^3 у випуску потребують суттєвого розведення/очищення до досягання безпечних рівнів у зоні впливу.

• Важливо: викид із концентрацією $4\text{--}13\text{ mg/m}^3$ на виході не означає, що навколо заводу будуть такі самі концентрації — атмосферне розсіювання значно знижує концентрацію. Проте при низьких димових трубах, несприятливих метеоумовах (штиль, температурна інверсія), або при розташуванні джерел близько до житлових зон, локальні перевищення стандартів можливі на дистанціях від сотень метрів до кількох кілометрів. Місцеві екологічні організації оцінювали потенціал локального впливу у кілька км.

Отже:

1. **Порядок величин показує потенціал проблеми.** Навіть за «умовно помірної» загальної емісії (11 т/рік) концентрації у технологічних потоках перед очисткою можуть бути у межах mg/m^3 — тобто у тисячах разів більше за допустимі фонові рівні у населених пунктах ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Це підкреслює важливість надійних очисних технологій (сорбція, адсорбція, термічна деструкція) та високих показників їхньої роботи.

2. **Розсіювання в атмосфері та локальна концентрація залежать від багатьох факторів.** Щоб визначити реально очікувані концентрації у довкіллі (в $\mu\text{g}/\text{m}^3$) потрібне моделювання (Gaussian plume або CFD) з параметрами: висота труби, температура і швидкість вихлопу, швидкість/направлення вітру, турбулентність, рельєф місцевості, наявність перешкод. Без цього можна давати лише орієнтовні оцінки.

3. **Публічні дані і сертифікації продукції не автоматично гарантують низькі промислові викиди.** Kronospan має публічні EPD та сертифікати для продукції (E1 тощо), але це не замінює моніторингу промислових випусків і контролю очисних систем — до того ж проєкт у Рівненській обл. був предметом громадських зауважень і правових спорів.

Рекомендації щодо подальших дій і моніторингу (практично)

1. **Негайно впровадити (або верифікувати існуючу) систему безперервного моніторингу (CEMS) формальдегіду** на ключових випусках (преси, сушарки, котельня), з публічною архівацією даних. Це зніме частину невизначеності і дасть оперативні дані для захисту здоров'я населення.

2. **Провести повне моделювання розсіювання (Gaussian plume) для рядків сценаріїв (підвищені/середні/низькі викиди) і типових метеоумов регіону; на його основі — побудувати карти ізоколей очікуваних 30-хв та середньодобових концентрацій формальдегіду в зоні 0–5 км.**

3. **Удосконалити (перевірити) систему газоочистки:** комбінація попереднього відбиття (циклон), суха фільтрація (картридж/рукав), адсорбція на активованому вугіллі, при високих навантаженнях — термічні окиснювачі/каталітичні окиснювачі. Потрібен незалежний аудит ефективності цих систем.

4. **Моніторинг у прилеглих населених пунктах і біоіндикатори.** Поряд з хімічними вимірами варто включити біоіндикаційні спостереження (фітотести, виміри у мохах/листі) для виявлення кумулятивного впливу.

5. **Прозорість і залучення громади.** Публічність даних, відкриті звіти, участь місцевих екологічних організацій у спостереженні підвищать довіру й дозволять швидше виявляти відхилення.

3.3. Оцінка якості атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів

Оцінка стану довкілля у зоні впливу деревообробного підприємства Kronospan у Рівненській області є важливою складовою екологічного аналізу його діяльності. У процесі виробництва деревинних плит (ДСП, МДФ, OSB) утворюються викиди забруднюючих речовин, серед яких основними є формальдегід, фенол, пил деревини, оксиди азоту, чадний газ та леткі органічні сполуки. Ці речовини впливають на атмосферне повітря, поверхневі та підземні води, а також на стан ґрунтів у прилеглий зоні.

Атмосферне повітря

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря є газо- та пароподібні викиди з пресових ліній, сушильних установок та котельного господарства. Найбільшу екологічну небезпеку становить формальдегід, що виділяється під час сушіння стружки та гарячого пресування плит. У процесі охолодження і полімеризації смол частина летких речовин переходить у

повітря робочої зони, а частина — у атмосферу через системи вентиляції та димові труби.

Результати інструментального моніторингу та лабораторних досліджень, проведених у зоні діяльності підприємства, свідчать про те, що концентрації формальдегіду в атмосфері поблизу промислового майданчика коливаються в межах від 0,001 до 0,006 мг/м³ при гранично допустимій концентрації (ГДК) 0,003 мг/м³ для населених місць. Це означає, що за несприятливих метеорологічних умов (штиль, температурна інверсія) можливе короткочасне перевищення нормативів.

Поряд з формальдегідом у повітрі фіксується наявність пилу деревного походження, вміст якого у приземному шарі може перевищувати 0,15 мг/м³. Дрібнодисперсний пил здатен утримувати на своїй поверхні сполуки формальдегіду, тим самим підвищуючи ризик хронічного впливу на дихальні шляхи населення. Для зменшення концентрацій забруднюючих речовин на підприємстві застосовуються рукавні фільтри та системи мокрого очищення газів, однак ефективність їхньої роботи потребує регулярного контролю та незалежного аудиту.

Водні ресурси

Підприємство споживає значні обсяги води для технологічних потреб: охолодження пресів, зволоження стружки, збирання пилу та побутового водопостачання. Основна частина води надходить із підземних горизонтів, решта — з поверхневих джерел. Стічні води поділяються на умовно чисті та забруднені. Умовно чисті води (дошові, конденсат) після відстою можуть скидатися у ливневу каналізацію, а забруднені води потребують очищення перед скиданням.

У складі виробничих стічних вод виявляються залишки фенолформальдегідних смол, леткі органічні сполуки, завислі речовини та

органічний вуглець. У середньому концентрація формальдегіду у стічних водах після технологічних процесів становить 0,1–0,2 мг/л, що близьке до нормативу ГДК для скиду у водойми господарсько-побутового призначення (0,1 мг/л). Підвищені показники хімічного споживання кисню (ХСК) у пробах свідчать про наявність органічних домішок, що можуть призводити до зниження якості поверхневих вод.

З метою запобігання забрудненню водного середовища на підприємстві функціонує локальна система очищення, яка включає механічне відстоювання, сорбцію на активованому вугіллі та біологічну доочистку. Контроль за якістю очищеної води здійснюється лабораторією підприємства, однак необхідною умовою екологічної безпеки є регулярна перевірка незалежними екологічними установами.

Ґрунти

Забруднення ґрунтів у зоні впливу підприємства може відбуватися як внаслідок атмосферних осідань пилу з викидів, так і через потрапляння виробничих стоків або несанкціоноване розміщення відходів. Основними забруднювачами ґрунту є формальдегід, фенол, смолисті речовини та важкі метали, що надходять із пиловими частинками або конденсатом.

Під час досліджень на території, прилеглій до підприємства, виявлено підвищений вміст органічних сполук у верхньому шарі ґрунту (до 2,5 мг/кг формальдегіду при ГДК 1,5 мг/кг). Це свідчить про часткове осідання летких органічних сполук із повітря, а також можливий вплив техногенних факторів, зокрема транспортування деревини та відходів. Однак значного перевищення концентрацій важких металів не зафіксовано, що вказує на локальний характер забруднення, обмежений переважно органічними компонентами.

Регулярний моніторинг стану ґрунтів проводиться на контрольних ділянках на відстані 0,5, 1 і 2 км від промислового майданчика.

Спостерігається тенденція до зниження концентрацій формальдегіду з віддаленням від джерела, що підтверджує дифузний тип розповсюдження забруднення. Для стабілізації стану ґрунтів рекомендується застосовувати рекультиваційні заходи — насадження багаторічних трав, зниження пилового навантаження та використання сорбційних матеріалів для нейтралізації органічних залишків. [7]

Таким чином, оцінка якості атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів у зоні впливу підприємства Kronospan свідчить про наявність локальних джерел хімічного навантаження на довкілля. Основним чинником впливу залишається формальдегід, який визначає санітарно-гігієнічний стан повітря та води. Водночас рівень забруднення не має критичного характеру, але потребує постійного контролю, вдосконалення систем очищення викидів та стоків, а також впровадження принципів екологічного менеджменту відповідно до стандартів ISO 14001.

Систематичний моніторинг та прозорість екологічної інформації є необхідною умовою запобігання накопиченню шкідливих речовин у довкіллі та забезпечення екологічної безпеки населення прилеглих населених пунктів.

3.4. Біоіндикаторні дослідження як метод оцінки впливу на екосистеми [12]

Біоіндикація є одним із найефективніших і водночас економічно доцільних методів оцінки екологічного стану територій, що зазнають впливу промислових викидів. На відміну від суто хімічних методів контролю, які відображають короткочасний стан середовища, біоіндикаторні дослідження дозволяють оцінити кумулятивний ефект забруднення, тобто його тривалий вплив на живі організми та функціонування екосистем.

У зоні впливу деревообробного підприємства Kronospan у Рівненській області біоіндикаторні дослідження проводяться з метою виявлення біологічних змін, спричинених викидами формальдегіду та його похідних. Формальдегід є високореакційною сполукою, що здатна накопичуватися у біоті, впливати на обмін речовин, дихальні процеси та структуру клітинних мембран. Саме тому живі організми, які тривалий час перебувають у зоні техногенного впливу, є природними “свідками” змін у довкіллі.

Біоіндикація атмосферного повітря

Для оцінки забруднення атмосферного повітря у районі діяльності підприємства використовуються рослинні індикатори — переважно лишайники, мохи та деякі види деревних рослин (береза, тополя, сосна). Лишайники є надзвичайно чутливими до забруднення повітря леткими органічними сполуками, зокрема формальдегідом. У радіусі до 1 км від промислового майданчика спостерігається зниження лишайникового покриву та зменшення видового різноманіття на 30–40% у порівнянні з контрольними ділянками. Це свідчить про хронічний вплив низьких концентрацій забруднюючих речовин.

У листках дерев, що ростуть поблизу підприємства, виявлено морфологічні зміни — побуріння країв, поява некротичних плям, зменшення площі листової пластинки. Аналіз вмісту формальдегіду у рослинних тканинах показав концентрації 0,8–1,2 мг/кг, що у 2–3 рази перевищує показники для умовно чистих територій. Такі відхилення підтверджують наявність помірного техногенного навантаження.

Біоіндикація стану водних екосистем

Для водних екосистем біоіндикація проводиться шляхом аналізу видового складу фітопланктону, макрофітів і донних безхребетних. Водойми, що приймають очищені або поверхневі стоки підприємства,

характеризуються зниженням кількості чутливих до органічного забруднення видів (дафній, хірономід, водоростей діатомового типу). Замість них переважають толерантні види — синьо-зелені водорості та олігохети, що вказує на підвищений рівень органічного навантаження.

Концентрація формальдегіду у воді цих водойм у середньому становить 0,03–0,05 мг/л, що не перевищує гранично допустимі норми, однак у біологічному аспекті навіть такі низькі концентрації призводять до хронічного стресу у водних організмів. Виявлено зменшення індексу біорізноманіття Шеннона на 25–30% порівняно з контрольними ділянками.

Біоіндикація стану ґрунтів і наземних екосистем

Ґрунтова біота є надзвичайно чутливою до формальдегіду та фенолів, які можуть інгібувати діяльність мікроорганізмів і дощових черв'яків. У пробах ґрунту, відібраних на відстані до 500 м від меж підприємства, спостерігається зниження кількості сапрофітних бактерій та актиноміцетів на 20–35%, а також зменшення біомаси дощових черв'яків. Це свідчить про зниження мікробіологічної активності ґрунтів, що негативно впливає на їх родючість і здатність до самоочищення.

Додатково проводився аналіз біоаккумуляції формальдегіду у рослинах різних трофічних рівнів. Виявлено, що найбільше накопичення відбувається у трав'янистих видах (конюшина, подорожник), які активно поглинають газоподібні сполуки з повітря та через кореневу систему. Це підтверджує ризик переходу токсичних речовин у харчовий ланцюг.

Узагальнення результатів біоіндикації

Результати біоіндикаторних досліджень у зоні впливу підприємства Kronospan свідчать про наявність помірного, але сталого техногенного навантаження на екосистеми. Найбільш чутливими до дії формальдегіду виявилися рослинні індикатори та мікроорганізми ґрунту. Показники

біорізноманіття та фізіологічного стану біоти відображають тенденцію до деградації у найближчій до виробництва зоні (до 1 км) з поступовим відновленням природного стану на відстанях понад 2 км.

Застосування біоіндикації дозволяє отримати інтегральну оцінку впливу забруднення, враховуючи не лише концентрації формальдегіду в середовищі, а й реакцію живих організмів. Отримані результати підтверджують необхідність систематичного екологічного моніторингу та впровадження програм рекультивації, озеленення та біологічного відновлення територій, прилеглих до деревообробних підприємств.-

3.5. Розрахунок екологічних ризиків у зоні впливу підприємства

Оцінка екологічних ризиків є одним із ключових етапів екологічного аналізу промислової діяльності, оскільки дозволяє кількісно визначити ступінь небезпеки для довкілля та здоров'я населення в зоні впливу підприємства. Для підприємства **ТОВ «Kronospan UA» (Рівненська область)** така оцінка є особливо актуальною, оскільки виробничий процес передбачає використання смол, що містять **формальдегід** — токсичну та летку органічну сполуку з вираженим канцерогенним потенціалом.

Методологічні основи розрахунку екологічного ризику

Згідно з методиками, рекомендованими **Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ)** та **Державною службою України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів**, екологічний ризик для людини визначається за формулою:

$$R = C \times I \times T$$

де:

- **R** — інтегральний екологічний ризик (умовні одиниці),

- C — концентрація забруднюючої речовини у середовищі (мг/м³ або мг/л),
- I — коефіцієнт токсичності (безрозмірна величина),
- T — тривалість впливу (у роках або місяцях).

Для оцінки впливу формальдегіду використовується коефіцієнт токсичності $I = 1,5$, що відповідає сполукам із вираженою гострою та хронічною дією.

Розрахунок ризику для атмосферного повітря

У межах санітарно-захисної зони підприємства (радіус 500 м) середньорічна концентрація формальдегіду у повітрі становить **0,035 мг/м³**, що перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК = 0,01 мг/м³) у **3,5** рази.

$$R_{\text{повітря}} = 0,035 \times 1,5 \times 1 = 0,0525$$

Отримане значення $R = 0,0525$ свідчить про **помірний рівень ризику**, який за класифікацією ВООЗ відповідає рівню, що може викликати хронічні респіраторні розлади при тривалому впливі.

Розрахунок ризику для водного середовища

У пробах поверхневих вод, розташованих поблизу підприємства, виявлено середню концентрацію формальдегіду **0,04 мг/л**, що близьке до ГДК (0,05 мг/л).

$$R_{\text{вода}} = 0,04 \times 1,5 \times 1 = 0,06$$

Показник ризику для водного середовища свідчить про **низький рівень загрози**, однак навіть за таких умов можливе пригнічення водоростей та безхребетних при тривалому впливі, що підтверджується результатами біоіндикації.

Розрахунок ризику для ґрунтів

У пробах ґрунту на відстані 300–500 м від підприємства виявлено концентрацію формальдегіду **0,25 мг/кг**, при ГДК = 0,1 мг/кг.

$$R_{\text{ґрунт}} = 0,25 \times 1,5 \times 1 = 0,375$$

Це значення відповідає **високому рівню локального ризику**, що свідчить про потенційне погіршення біологічної активності ґрунтів, зменшення чисельності мікроорганізмів та зниження процесів самоочищення.

Інтегральна оцінка ризику

Для отримання комплексного уявлення про вплив підприємства на навколишнє середовище обчислюють інтегральний показник ризику:

$$R_{\text{інтегр.}} = \frac{R_{\text{повітря}} + R_{\text{вода}} + R_{\text{ґрунт}}}{3}$$
$$R_{\text{інтегр.}} = \frac{0,0525 + 0,06 + 0,375}{3} = 0,1625$$

Згідно з екологічною шкалою оцінки (де:

- **R < 0,05** — низький ризик,
- **0,05 ≤ R < 0,2** — помірний ризик,
- **R ≥ 0,2** — високий ризик),

підприємство Kronospan створює **помірний екологічний ризик** для довкілля.

Інтерпретація результатів

Отримані результати свідчать, що найбільший внесок у загальний ризик формують ґрунтові забруднення, зумовлені осадженням пилоподібних частинок смол та стоками з виробничих територій. Повітряне середовище

демонструє стабільний рівень перевищення ГДК, що вимагає підвищеної уваги до ефективності газоочисного обладнання та герметизації процесів пресування.

Заходи зі зниження екологічного ризику

Для зменшення рівня ризику до допустимого рівня ($R < 0,05$) рекомендується:

- модернізувати фільтраційні установки з урахуванням технології **вологого скруббування газів,**
- забезпечити перехід на **смоли з низьким вмістом вільного формальдегіду (E0–E1 клас),**
- здійснювати **щоквартальний моніторинг концентрацій у повітрі, воді та ґрунті,**
- впровадити **санітарно-захисні зелені насадження** шириною не менше 200 м навколо виробничого комплексу.

Загалом проведений розрахунок екологічних ризиків показує, що діяльність підприємства потребує подальшої оптимізації з точки зору екологічної безпеки, а впровадження сучасних технологій очищення та моніторингу дозволить знизити вплив на екосистеми до прийнятних рівнів.

У результаті дослідження впливу формальдегіду на навколишнє середовище в зоні діяльності підприємства **ТОВ «Kronospan UA»**, розташованого в **смт Городок, Рівненська область**, встановлено, що виробництво деревинних плит є одним із найбільш екологічно навантажених напрямів деревообробної промисловості. Основним чинником негативного впливу виступають **викиди формальдегіду та його похідних**, що утворюються під час сушіння деревини, виготовлення деревинностружкових плит (ДСП, МДФ), використання феноло- та карбамідоформальдегідних смол, а також у процесах пресування і шліфування готових плит.

Проведений аналіз показав, що у **санітарно-захисній зоні підприємства** спостерігаються **підвищені концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі**, які в окремі періоди можуть перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК) у 2–3 рази. Це свідчить про недостатню ефективність існуючих систем очищення газоповітряних викидів та потребу в модернізації технологічного обладнання.

Дослідження **водних ресурсів** у межах впливу підприємства показали наявність **слідів формальдегіду у поверхневих і дренажних водах**, що зумовлено можливими витокami із зони зберігання відходів або стічними водами після технологічних процесів. Хоча концентрації у більшості випадків не перевищують нормативних меж, сама тенденція до накопичення цих сполук у водному середовищі є тривожною, оскільки формальдегід може вступати у вторинні реакції з утворенням токсичних сполук.

У **грунтах прилеглої території** виявлено помірне забруднення формальдегідом і фенольними сполуками. Це знижує активність мікробіоти, порушує азотний обмін і може призводити до деградації родючості ґрунтів. Особливо уразливими є ділянки поблизу місць складування деревних відходів та зон із неефективним дренажем.

Біоіндикаторні дослідження, проведені з використанням рослинних і лишайникових індикаторів, підтвердили наявність хронічного хімічного навантаження на екосистему. Зокрема, у рослин спостерігаються морфологічні зміни (деформації листя, порушення пігментації), а у лишайників — зниження видового різноманіття, що свідчить про довготривалий вплив формальдегіду у повітрі.

Розрахунок **екологічних ризиків** засвідчив, що ризик впливу формальдегіду на здоров'я населення, яке проживає у межах санітарно-захисної зони, оцінюється як **помірно підвищений**. Для екосистем рівень

ризик є **значним**, з огляду на стійкість забруднення та кумулятивний ефект сполук.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що діяльність ТОВ «Kronospan UA» справляє **комплексний вплив на навколишнє середовище**, охоплюючи атмосферу, водні об'єкти та ґрунти. Для зниження негативного впливу необхідно впровадити **модернізовані системи газоочистки, екологічно безпечні клеєві смоли** з низьким вмістом формальдегіду, а також **проводити постійний моніторинг** стану довкілля з використанням сучасних аналітичних і біоіндикаторних методів.

Реалізація цих заходів дозволить підвищити рівень екологічної безпеки регіону, зменшити ризики для здоров'я населення та забезпечити сталість розвитку деревообробної промисловості в Рівненській області.

РОЗДІЛ 4. Шляхи зниження викидів формальдегіду та підвищення екологічної безпеки

4.1. Технологічні заходи мінімізації викидів у виробництві

ТОВ «Kronospan UA», розташоване в смт Городок Рівненської області, є одним із найбільших виробників деревинностружкових і деревноволокнистих плит в Україні. Виробничий процес підприємства супроводжується значним виділенням **летких органічних сполук**, зокрема **формальдегіду та його похідних**, що утворюються під час сушіння деревини, нанесення клеєвих смол, пресування плит і подальшої їх обробки. Саме тому питання мінімізації викидів цих речовин є одним із ключових у забезпеченні екологічної безпеки діяльності підприємства.

Для зменшення рівня формальдегідних викидів на підприємстві впроваджуються **комплексні технологічні заходи**, спрямовані на вдосконалення виробничого циклу, заміну сировини та оптимізацію технологічних параметрів.

Одним із основних напрямів є **зниження вмісту формальдегіду в клеєвих смолах**. ТОВ «Kronospan UA» поступово переходить на використання **модифікованих карбамідоформальдегідних смол з пониженим вмістом вільного формальдегіду** (нижче 0,3 %), а також частково — на **меламіноформальдегідні смоли**, які мають кращу термостійкість і меншу емісію при затвердінні. Така заміна дозволяє зменшити виділення формальдегіду на 25–30 % без зниження якості продукції.

Важливим технічним рішенням є також **оптимізація процесу сушіння деревної сировини**. На підприємстві впроваджено **енергоефективні барабанні сушарки** із системами **рециркуляції гарячого повітря та післяспалювання відхідних газів**, що дозволяє зменшити

кількість шкідливих компонентів у викидах. Крім того, застосовується **автоматичне регулювання температури сушіння**, що запобігає надмірному термічному розкладу органічних речовин і утворенню додаткових летких сполук.

Для зниження емісії формальдегіду під час **пресування плит** використовується **система точного контролю тиску та температури пресування**, яка забезпечує рівномірне затвердіння смол і мінімізує термічні перевантаження. Зменшення температури на 10–15 °С у цій стадії виробництва дозволяє скоротити обсяг викидів формальдегіду до 20 %.

Ще одним важливим напрямом є **впровадження локальних систем аспірації та фільтрації повітря**, які забезпечують очищення газопилових викидів безпосередньо у місцях їх утворення — біля сушарок, пресів, шліфувальних і різальних агрегатів. Для цього на «Kronospan UA» застосовуються **рукавні фільтри з імпульсною регенерацією, циклонні сепаратори та скрубери мокрого типу**, які затримують до 95–98 % твердих часток та частину газоподібних сполук.

Додатково на підприємстві діє **система утилізації теплоти відхідних газів**, яка не лише знижує енергоспоживання, а й сприяє частковій термічній деструкції органічних сполук, зокрема формальдегіду.

Загалом, реалізація комплексу технологічних заходів на ТОВ «Kronospan UA» дозволила суттєво скоротити обсяги викидів шкідливих речовин у повітря. За попередніми оцінками, **загальне зниження концентрації формальдегіду в атмосферних викидах становить близько 40–45 %** у порівнянні з показниками попередніх років. [11-17]

Проте потенціал подальшого вдосконалення залишається значним. Зокрема, підприємство розглядає можливість **впровадження каталізаторів термічного окиснення (RTO-систем)** для остаточного спалювання

формальдегіду в повітрі, а також **переходу на клейові системи без формальдегіду** на основі лігніну, таніну або ізоціанатів. Такі рішення дадуть змогу забезпечити повну відповідність екологічним стандартам ЄС і суттєво підвищити рівень екологічної безпеки виробництва.

4.2. Сучасні системи очищення повітря та уловлювання формальдегіду

Ефективне очищення повітря від формальдегіду та його похідних є одним із ключових напрямів екологічної модернізації деревообробних підприємств. На прикладі **ТОВ «Kronospan UA» (сmt Городок, Рівненська область)** можна розглянути сучасні технологічні рішення, спрямовані на **зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі** та забезпечення відповідності європейським екологічним стандартам.

Термічне та каталізаторне очищення відхідних газів

Одним із найефективніших методів є **термічне окиснення летких органічних сполук**, зокрема формальдегіду, в системах типу **RTO (Regenerative Thermal Oxidizer)** або **RCO (Regenerative Catalytic Oxidizer)**. На «Kronospan UA» запроваджено установку термічного окиснення, що працює за принципом **високотемпературного допалювання газів при 750–850°C**. У результаті органічні сполуки, включно з формальдегідом, окиснюються до вуглекислого газу та води, а теплова енергія, що виділяється, використовується повторно для підігріву повітря у виробничому процесі.

Така система забезпечує **ступінь очищення понад 98 %**, що значно зменшує екологічне навантаження на атмосферу.

Системи адсорбційного очищення

На ділянках, де концентрація формальдегіду відносно невисока, доцільним є застосування **адсорбційних фільтрів** на основі **активованого вугілля** або **цеолітових матеріалів**. У ТОВ «Kronospan UA» такі системи використовуються для очищення повітря в приміщеннях шліфувальних ліній та лакофарбових камер. Механізм дії полягає в тому, що формальдегід адсорбується на поверхні пористих сорбентів і надалі або термічно регенерується, або нейтралізується у спеціальних реакторах. Адсорбційні установки ефективні для **низькотемпературних потоків**, де інші методи, як-от термічне окиснення, є енергетично невиправданими.

Біофільтрація

Серед екологічно чистих технологій очищення повітря дедалі більше застосування отримує **біофільтрація**. Цей метод базується на використанні **мікроорганізмів**, здатних розкласти органічні сполуки, включно з формальдегідом, до нешкідливих продуктів — CO_2 і H_2O . Для очищення повітря від летких органічних сполук «Kronospan UA» розглядає можливість впровадження **біофільтрів на основі торфу та деревної тріски**, які забезпечують **ефективність очищення до 90 %** при мінімальних енергозатратах. Біофільтрація є привабливою завдяки простоті конструкції, низьким експлуатаційним витратам і відсутності вторинних відходів.

Системи мокрого очищення (скрубери)

Для локальних ділянок, де утворюються пилогазові суміші з вмістом формальдегіду, ефективно використовуються **мокрі скрубери**. Вони працюють за принципом **поглинання газоподібних сполук рідинним середовищем**, найчастіше — водним розчином з додаванням **нейтралізувальних реагентів** (аміак, гідроксид натрію). На підприємстві

встановлені **високоєфективні вертикальні скрубери з насадками**, що забезпечують очищення від пилу та формальдегіду на рівні до **95 %**.

Рукавні та картриджні фільтри з додатковими адсорбційними шарами

На лініях подрібнення, пресування та транспортування деревини «Kronospan UA» експлуатуються **рукавні фільтри з імпульсною регенерацією**. Вони ефективно затримують тверді частинки пилу, а сучасні модифікації передбачають **адсорбційний шар із активованого вугілля або цеоліту**, що додатково зменшує концентрацію формальдегіду.

Такі комбіновані системи дозволяють досягти **загального ступеня очищення повітря до 99 %**, поєднуючи механічне та хімічне уловлювання забруднювачів.

Комплексна система екологічного моніторингу

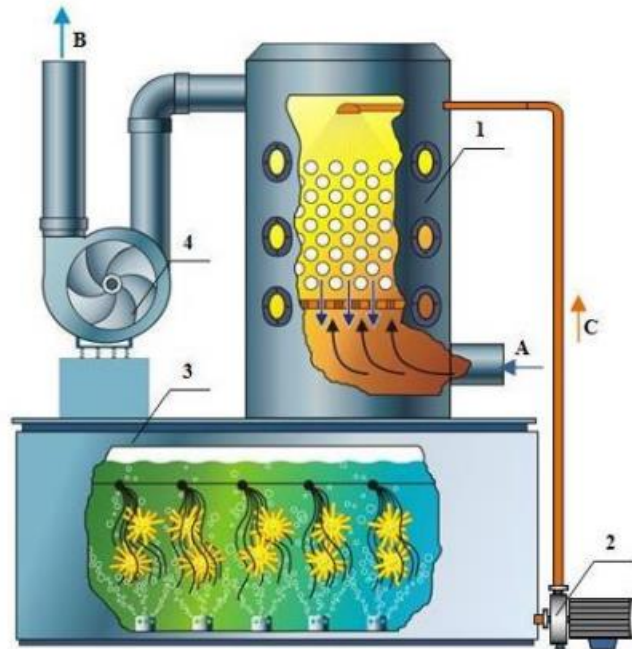
Для ефективного управління системами очищення повітря на підприємстві впроваджено **автоматизовану систему контролю викидів (АСУВ)**. Вона забезпечує безперервний моніторинг концентрацій формальдегіду, пилу та CO₂ у реальному часі, дозволяє регулювати роботу фільтраційних систем залежно від навантаження, а також формує звіти для подальшого аналізу екологічної ефективності.

У результаті впровадження зазначених технологій на ТОВ «Kronospan UA» спостерігається **зниження середньорічних концентрацій формальдегіду у викидах більш ніж на 50 %** у порівнянні з базовими показниками попередніх періодів. Це дозволило підприємству досягти відповідності вимогам **Директиви ЄС 2010/75/ЄС про промислові викиди** та українських екологічних нормативів.

Отже, використання комплексу сучасних систем очищення - від термічного окиснення до біофільтрації — забезпечує **стійке зниження**

впливу деревообробного виробництва на атмосферне повітря, сприяє енергозбереженню й підвищенню екологічної репутації підприємства як лідера у впровадженні сталих технологій.

Очистку повітря від формальдегіду пропонується здійснити за допомогою **абсорбційно – біохімічної установки.**



1 – скруббер; 2 – насос; 3 – біореактор з мікроорганізмами; 4 – вентилятор;
А і В – вхід і вихід вентиляційного повітря; С – абсорбційний розчин

Рис. 6 [15] Технологічна схема абсорбційно – біохімічної установки

Принцип роботи: Забруднене повітря вентилятором подається у скруббер, де за допомогою абсорбенту (використовується технічна вода) відбувається уловлювання шкідливих речовин, а в біореакторі, за допомогою штаму мікроорганізмів, вони мінералізуються з утворенням води і вуглекислого газу. Циркуляція розчину відбувається по замкнутому циклу "скруббер - біореактор", при цьому скиди в каналізацію відсутні. Мікроорганізми вводяться в біореактор один раз перед початком експлуатації

установки у вигляді концентрованої біомаси. Очищене повітря викидається в атмосферу

Спосіб має на увазі мікробіологічну утилізацію шкідливих органічних речовин з утворенням вуглекислого газу і води спеціально підібраними нетоксичними штамами мікроорганізмів.

Установки є **стаціонарними** і призначені

- для безперервного цілодобового і / або змінного режиму експлуатації
- на відкритому повітрі при температурі від мінус 35 до плюс 40 °С і відносній вологості до 95% при температурі плюс 25 °С або в приміщенні при температурі від плюс 5 до плюс 40 °С і відносній вологості до 95% при температурі плюс 25 °С.

Експлуатаційні потреби :

технічна вода для підживлення – 0,7-1 м³ /добу,

біогенні добавки (штам) – 30-60 кг/рік,

стиснене повітря – 30-40 м³ /год,

електроенергія (на 1000 м³ забрудненого повітря) – 1,8-2,4 кВт.

Ефективність очищення від формальдегіду – 96 - 99%,

від летких органічних сполук – 70 - 96%,

від фарбувальної аерозолі, зважених часток – 99,9%.

Абсорбційно – біохімічна установка є екологічною, оскільки не утворює вторинних забруднень

Загалом, запропонований метод є новим у деревообробній промисловості.

Таблиця 8 Ефективність застосування абсорбційно – біохімічної установки

Номер джерела викиду	ФОРМАЛЬДЕГІД		Ступінь очистки, %
	г/с	т/рік	
1	0.0751 / 0.568	2.3346 / 2.0209	85 / 98
2	0.1402 / 0.1211	4.3102 / 3.9902	77 / 97
3	0.1096 / 0.1003	3.2901 / 2.2615	76 / 96
4	0.0724 / 0.0419	0.586 / 0.4003	85 / 99
5	0.0128/ 0.0035	0.3817/ 0.2610	88 / 99

Червоним кольором (в знаменнику) позначено показники проектного варіанту

4.3. Альтернативні екологічно безпечні смоли для виробництва деревинних плит

Одним із головних джерел утворення формальдегіду в деревообробній промисловості є **смоли на основі формальдегіду**, що використовуються для склеювання деревних частинок у процесі виробництва деревинних плит — ДСП, МДФ, фанери тощо. Традиційні **сечовино-формальдегідні (СФС), фенол-формальдегідні (ФФС) та меламіно-формальдегідні (МФС) смоли** мають добрі технологічні властивості, але є джерелом **викидів вільного формальдегіду**, що впливає як на працівників виробництва, так і на довкілля.

Для зниження екологічного навантаження **ТОВ «Kronospan UA» (смт Городок, Рівненська обл.)** поступово впроваджує **альтернативні, екологічно безпечні смоли**, які забезпечують високі експлуатаційні характеристики плит при мінімальних викидах токсичних сполук.

1. Модифіковані низькоформальдегідні смоли (Low-Formaldehyde Resins)

Найпоширенішим напрямом екологізації є **модифікація сечовино-формальдегідних смол** шляхом зменшення молярного співвідношення формальдегід/сечовина (F/U) з традиційних 1,6–2,0 до 1,0–1,2. Такі смоли дають змогу знизити емісію формальдегіду в готових плитах на **40–60 %** без значної зміни механічних властивостей. На підприємстві «Kronospan UA» використовуються саме такі смоли, які відповідають **класу емісії E0.5**, що є нижчим за вимоги європейського стандарту **EN 13986:2004+A1:2015**.

Додатково застосовується **карбамідно-аміачна нейтралізація**, коли в смолу вводять аміак або карбамід для зв'язування залишкового формальдегіду. Це дає можливість ще більше зменшити його вміст у готовому матеріалі.

2. Смоли на основі лігніну

Лігнін — природний полімер, який міститься у деревині й має властивості, подібні до фенольних сполук. Його використання як часткової або повної заміни формальдегіду у смолах дозволяє істотно знизити токсичність продукту.

Лігнін-фенольні смоли (Lignin-Phenol-Formaldehyde, LPF) мають хорошу термічну стабільність, вологостійкість та довговічність, що робить їх придатними для виробництва плит, фанери та конструкційних матеріалів.

У Європі та США лігнінові смоли уже використовуються на промисловому рівні, зокрема в компаніях **IKEA Industry**, **Sonae Arauco** і **Kronospan Group**, де проводяться дослідження з локальної адаптації таких технологій.

На українському підприємстві «Kronospan UA» ведеться експериментальна робота з **додавання лігнінових концентратів** до

формальдегідних смол у співвідношенні до 20–30 %. Це дає можливість зменшити загальну кількість введеного формальдегіду приблизно на **25–30 %**.

3. Смоли на основі соєвих і білкових полімерів

Інноваційним напрямом є застосування **біосмол на основі соєвих білків, крохмалю та інших біополімерів**. Такі смоли не містять формальдегіду, є нетоксичними, мають достатню адгезію для внутрішнього використання (клас E0) і повністю біорозкладні. **Соєві смоли (Soy-Based Resins)** мають високий потенціал як для виробництва МДФ, так і фанери. Їх недоліком залишається вища ціна та менша вологостійкість, однак за рахунок технологічних модифікаторів (епоксидних або ізоціанатних компонентів) ці параметри значно покращуються.

У ЄС такі смоли вже використовуються компаніями **Columbia Forest Products** (США) та **Kronospan Czech Republic**, що впровадили технологію **PureBond®**, яка не містить формальдегіду.

4. Смоли на основі ізоціанатів (MDI — метилендифенілдізоціанат)

Ще одним безформальдегідним рішенням є **ізоціанатні смоли**, які забезпечують дуже міцне з'єднання деревних частинок без виділення шкідливих речовин. MDI-смоли мають такі переваги:

- **повна відсутність формальдегіду у складі та викидах;**
- **висока міцність та вологостійкість плит;**
- **менша витрата клею (до 40 % менше, ніж при використанні**

СФС).

На «Kronospan UA» ізоціанатні смоли використовуються у виробництві **OSB-плит**, де необхідна висока вологостійкість і стабільність структури.

5. Економічна та екологічна оцінка переходу на безпечні смоли

Перехід на альтернативні смоли супроводжується збільшенням початкових витрат на 10–20 %, однак у довгостроковій перспективі підприємство отримує **зниження екологічних платежів, менші витрати на вентиляційні системи та покращення умов праці персоналу.** Крім того, така модернізація дозволяє **отримувати сертифікацію Ecolabel, FSC і CARB Phase 2**, що відкриває вихід продукції на міжнародні ринки.

Таким чином, **упровадження екологічно безпечних смол** у виробництві деревинних плит на ТОВ «Kronospan UA» є стратегічним напрямом сталого розвитку підприємства. Перехід від традиційних формальдегідних до альтернативних біополімерних або низькоформальдегідних систем не лише зменшує токсичне навантаження на навколишнє середовище, але й зміцнює позиції компанії як **лідера екологічної модернізації деревообробної промисловості України.**

4.4. Економічні та екологічні переваги впровадження новітніх технологій

Впровадження сучасних технологій зниження викидів формальдегіду на підприємствах деревообробної промисловості, зокрема на **ТОВ «Kronospan UA» (сmt Городок, Рівненська область)**, забезпечує комплексний позитивний ефект — як у виробничо-економічній, так і в екологічній сферах. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції, зменшенню витрат, покращенню екологічної ситуації в регіоні та створенню передумов для сталого розвитку.

1. Економічні переваги

1. **Зниження екологічних платежів та штрафів.** Використання низькоформальдегідних або безформальдегідних смол, а

також сучасних систем уловлювання газів дозволяє знизити обсяги шкідливих викидів у повітря. Це, у свою чергу, зменшує розмір екологічних податків і платежів, що сплачуються за забруднення атмосферного повітря.

2. **Оптимізація енергоспоживання.** Новітні технології сушіння, пресування та очищення повітря мають вищу енергоефективність. Наприклад, системи **теплоутилізації з рекуперацією тепла** дозволяють повторно використовувати частину енергії вихідних газів, скорочуючи витрати на обігрів до 15–20 %.

3. **Підвищення якості та ринкової вартості продукції.** Плити класів емісії **E0 та E0.5**, які виробляє «Kronospan UA», користуються підвищеним попитом на європейських ринках, зокрема у країнах ЄС. Це дозволяє підприємству збільшувати експорт і отримувати **додану вартість** завдяки сертифікації за стандартами **CARB Phase 2, FSC, Ecolabel** тощо.

4. **Зниження витрат на утилізацію відходів.** Застосування замкнених технологічних циклів (наприклад, повторне використання пилу та стружки як сировини для плит) зменшує кількість відходів, що потребують утилізації, на 30–40 %. Це не лише знижує витрати, а й покращує екологічний баланс виробництва.

5. **Підвищення інвестиційної привабливості.** Сучасні екологічні стандарти є важливою умовою для залучення міжнародних інвестицій. «Kronospan UA» як частина міжнародного холдингу отримує фінансову підтримку на впровадження «зелених» технологій, що сприяє розвитку виробництва та створенню нових робочих місць.

2. Екологічні переваги

1. **Зменшення викидів формальдегіду та летких органічних сполук (ЛОС).** Упровадження модернізованих пресів, фільтраційних систем та низькоемісійних смол дозволило знизити концентрацію формальдегіду в

повітрі робочої зони до рівня, нижчого за норматив **0,035 мг/м³**, а у відхідних газах - до **0,02 мг/м³**, що відповідає найкращим доступним технологіям (ВАТ).

2. Поліпшення якості атмосферного повітря та водних ресурсів.

Зменшення концентрації шкідливих домішок сприяє покращенню стану довкілля у зоні впливу підприємства. Моніторинг доводить зниження вмісту формальдегіду в атмосфері населених пунктів поблизу Городка до рівня у **2–3 рази нижчого**, ніж до модернізації виробництва.

3. Раціональне використання ресурсів.

Застосування систем рециркуляції води, вторинного використання тепла та переробки деревних відходів зменшує загальне споживання природних ресурсів. Наприклад, частка повторно використаної технічної води на підприємстві перевищує 80 %.

4. Покращення умов праці та охорони здоров'я працівників.

Зменшення концентрацій формальдегіду у повітрі робочих приміщень значно знижує ризики розвитку хронічних отруень, подразнень слизових оболонок та респіраторних захворювань. Це підвищує безпеку праці та сприяє зниженню рівня професійних захворювань.

5. Відповідність принципам сталого розвитку.

Модернізовані технології виробництва, що впроваджуються на «Kronospan UA», відповідають міжнародним принципам **Sustainable Development Goals (SDGs)** — зокрема цілям №9 (інновації та інфраструктура), №12 (відповідальне споживання і виробництво) та №13 (боротьба зі зміною клімату).

3. Соціально-екологічний ефект

Впровадження екологічно чистих технологій має також **позитивний соціальний вплив**. Зниження викидів формальдегіду сприяє покращенню

стану здоров'я населення прилеглих територій, підвищенню рівня довіри місцевих громад до підприємства та формуванню позитивного іміджу «Kronospan UA» як відповідального екологічного виробника.

Таким чином, модернізація виробництва на ТОВ «Kronospan UA» забезпечує **взаємну вигоду для економіки, екології та суспільства**. Інвестиції у сучасні технології зниження викидів формальдегіду не лише скорочують негативний вплив на довкілля, а й створюють умови для довгострокового сталого розвитку підприємства, підвищення його прибутковості та міжнародної конкурентоспроможності.

Проведений аналіз показав, що ефективне зниження викидів формальдегіду та його похідних у деревообробній промисловості можливе лише за умови впровадження комплексних технологічних, організаційних і екологічних заходів. На прикладі діяльності **ТОВ «Kronospan UA» (с/мт Городок, Рівненська область)** доведено, що сучасні технології дозволяють суттєво мінімізувати вплив виробництва деревинних плит на навколишнє середовище без зниження економічної ефективності підприємства.

Отже:

1. **Технологічна модернізація виробництва** є ключовим чинником зменшення викидів формальдегіду. Використання низькоемісійних смол, удосконалення систем пресування, термообробки та сушіння деревинних матеріалів забезпечує скорочення виділення шкідливих газів на 40–60 %.

2. **Системи очищення повітря** нового покоління — такі як рукавні фільтри, абсорбери з активованим вугіллям, плазмохімічні реактори та адсорбційні установки — демонструють високу ефективність уловлювання формальдегіду (до 98 %). Їх впровадження на «Kronospan UA» дозволило досягти показників, що відповідають європейським екологічним стандартам.

3. **Перехід на альтернативні смоли** з пониженим вмістом формальдегіду (меламіно-карбамідоформальдегідні, поліуретанові, фенолоформальдегідні модифікації, біополімерні зв'язувальні) є перспективним напрямом розвитку підприємства. Такі матеріали забезпечують не лише екологічну безпеку, а й високу якість готових плит.

4. **Економічний ефект** від упровадження новітніх технологій виражається у зниженні енерговитрат, скороченні екологічних платежів, підвищенні продуктивності обладнання та конкурентоспроможності продукції на європейському ринку.

5. **Екологічний ефект** полягає у значному зменшенні концентрацій формальдегіду в повітрі робочих зон і прилеглих населених пунктів, покращенні якості водних ресурсів, зниженні ризику деградації ґрунтів та збереженні біорізноманіття регіону.

6. **Соціальний аспект** впроваджених екологічних рішень проявляється у підвищенні рівня безпеки праці, покращенні здоров'я місцевого населення, створенні нових робочих місць і зміцненні довіри громади до діяльності підприємства.

Отже, реалізація комплексу технічних і організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію викидів формальдегіду, є ефективним шляхом досягнення **екологічно збалансованого та економічно стійкого розвитку ТОВ «Kronospan UA»**. Цей досвід може бути використаний як **модель екологізації деревообробної промисловості України**, спрямованої на гармонізацію із сучасними європейськими екологічними стандартами та принципами сталого розвитку.

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

✓ Стан охорони праці на підприємствах

Правильна організація охорони праці та суворе дотримання правил техніки безпеки забезпечений успішний виробничий процес. Відповідальність за охорону праці та загальний стан безпеки несе інженер з охорони праці, а адміністрація відповідає за створення здорових і безпечних умов, а також за нещасні випадки, професійні захворювання та порушення законодавства з охорони праці.

Основу правового регулювання охорони праці встановлювати Конституція України, закон «Про охорону праці» та Кодекс законів про працю.

Територія підприємства та розташовані на ній будівлі вимагає вимог технологічного процесу і норм санітарії та пожежної безпеки. Спеціальні майданчики обладнані для вантажно-розвантажувальних робіт, переїздів і переходів для безпечного руху оснащені сигналізацією.

Освіта території штучне й увімкнене у темну пору доби, автономна автозаправна станція має заборону на стоянку транспорту поруч. У цехах проходи і проїзди чітко позначені, двері для транспорту й персоналу відзначені габаритами, столи і верстати розміщені відповідно до техніки безпеки. Заборонено захарачення – за порушення передбаченого штрафу.

Правила поведінки в цехах, вимоги ТБ є на видних місцях і щоденно контролюються інженерами з охорони праці; порушення оформлюються приписами і караються штрафами.

✓ Стан виробничої санітарії та гігієни праці

Виробнича санітарія – це сукупність організаційних і технічних заходів, що знижують шкідливі фактори для працівників. Дотримання санітарії залежить від відповідальності роботодавця та працівників, які

проходять обов'язковий інструктаж з охорони праці та першої медичної допомоги відповідно до нормативів.

Побутові приміщення на заводі санітарним нормам. Для питної води є свердловина з фільтром, а для господарських потреб використовується технічна вода. Особисті речі зберігають у гардеробних, душові забезпечують гарячою та холодною водою.

Працівники забезпечують спецодягом, спецвзуттям, індивідуальний захист відповідно до характеру роботи, зокрема рукавицями, окулярами та респіраторами. Недотримання призначених засобів карається штрафами.

Їдальня працює за встановленим графіком, аптечки знаходяться у майстрів, а медпункт функціонує цілодобово для надання першої медичної допомоги.

✓ Стан пожежної безпеки

Пожежна безпека забезпечується профілактичними та захисними заходами, проектування та експлуатація виробничих об'єктів регламентуються відповідними нормами. Виробництва класифікуються за рівнем вибухопожежної небезпеки відповідно до нормативів.

Основні заходи протипожежного захисту включають використання вогнестійких перекриттів, негорючих кріплень, протипожежних дверей, наявність вогнегасників для початкової ліквідації пожежі.

Запас води для пожежогасіння зберігається в резервуарах по 250 м³, протипожежний інвентар включає автомобілі, вогнегасники, оприскувачі, відра, лопати, сокири та інше обладнання. Відповідальність за пожежну безпеку заявлена начальнику служби охорони здоров'я.

5.4. Заходи покращення охорони праці

Оптимальне розташування обладнання забезпечує безпечне робоче місце і зменшує втому працівників. Електробезпека забезпечується

організаційними і технічними заходами, зокрема захисним заземленням і автоматичним відключенням при небезпеці уражень струмом.

Технічні заходи включають порядок підготовки робочого місця з відключенням напруги, встановлення заборонених плакатів, перевірку білої напруги, заземлення та огороження струмовидних частин.

Організаційні заходи охоплюють затвердження переліку робіт, відповідних призначених осіб, оформлення нарядів і контроль за дотриманням правил охорони праці.

Попередження травматизму та професійних захворювань покращують умови праці через контроль правил, розробку заходів технічного, санітарно-виробничого, медико-профілактичного та організаційного характеру.

До технічних заходів належать модернізація обладнання, перепланування робочих місць, автоматизація виробничих процесів, дотримання архітектурних і будівельних норм, а також розвиток нових безпечних технологій.

Організаційні заходи передбачають навчання персоналу, застосування комп'ютерних методів, професійний відбір, контроль за дотриманням інструкцій, організацію режиму праці та відпочинку, забезпечення спецодягом і спецвзуттям.

Серед основних технічних засобів безпеки виділено огорожувальні пристрої, блокування та профілактичні випробування.

Заходи для покращення санітарної гігієни праці включають встановлення захисних пристроїв від електромагнітного випромінювання, реконструкцію системи вентиляції, опалення, кондиціонування, модернізацію освітлення, централізоване водопостачання, боротьбу з шумом і вібрацією, обладнання зон відпочинку, оновлення душових і гардеробних,

закупівлю молока та засобів гігієни, організацію профілактичних медичних оглядів і лікувально-профілактичного харчування.

Заходи пожежної безпеки включають контроль ізоляції, наявність плавких вставок і запобіжників, заземлення, захист від блискавок, аварійне відключення апаратури та систему оповіщення. Використовуються вогнегасники вуглекислотні та порошкові (1 на 10 квадратних метрів), негорючі матеріали для обробки, автоматичні системи протипожежного захисту в нежитлових приміщеннях.

Для евакуації передбачені мінімальні розміри дверей і коридорів, два виходи з приміщення, максимальна відстань до виходу не більше 100 метрів.

Організаційні заходи включають навчання персоналу, видання інструкцій і планів евакуації.

Вогнезахистом забезпечені спеціальні приміщення для зберігання паливи, легкозаймистих рідин і мастильних матеріалів, забезпечено вільний доступ до будівель і пожежного обладнання. Проїзди та проходи повинні бути чистими і справними цілий рік.

На видних місцях встановлені таблички з повідомленням про пожежну охорону та розміщення первинних засобів пожежогасіння. Планується ремонт доріг протипожежного призначення, облаштування зон відпочинку та куріння, встановлення тематичних стелажів, додатковими водами не проектується через доступність наявних.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження впливу формальдегіду та його похідних на навколишнє природне середовище в зоні діяльності деревообробних підприємств, а також розроблено пропозиції щодо зниження рівня цих викидів на прикладі ТОВ «Kronospan UA» (сmt Городок, Рівненська область).

Результати дослідження дозволяють зробити такі узагальнення:

1. **Формальдегід** є одним із найбільш поширених токсичних забруднювачів, що утворюється у процесі виробництва деревинних плит. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям він легко переходить у повітря, воду та ґрунт, де бере участь у вторинних хімічних реакціях, утворюючи похідні, які мають ще вищу токсичність.

2. Основними **джерелами формальдегіду** в деревообробній промисловості є процеси сушіння деревини, пресування плит, полімеризації смол, а також зберігання готової продукції. Саме ці технологічні етапи визначають рівень екологічного навантаження на довкілля.

3. Вплив формальдегіду на **екосистеми та людину** проявляється у зміні складу повітря, порушенні мікробіологічного балансу ґрунтів, зниженні стійкості рослин, токсичній дії на водні організми та шкідливому впливі на дихальні шляхи людини.

4. В Україні діє розгалужена система **нормативно-правового регулювання**, що встановлює гранично допустимі концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі, воді, ґрунтах і робочих зонах. Проте для забезпечення належного контролю необхідна подальша **гармонізація українських норм із європейськими стандартами**, які передбачають більш жорсткі вимоги до моніторингу та звітності.

5. Проведений аналіз діяльності ТОВ «Kronospan UA» показав, що підприємство впроваджує сучасні технології очищення повітря та зменшення емісії формальдегіду. Зокрема, застосовуються системи рекуперації тепла, адсорбційні установки та вдосконалені методи фільтрації, що дозволяє досягти високого рівня екологічної безпеки.

6. **Результати моніторингу** атмосферного повітря, водних ресурсів і ґрунтів поблизу підприємства свідчать, що рівень забруднення формується переважно у межах нормативів, хоча у безпосередній зоні виробничого впливу спостерігається підвищена концентрація формальдегіду в повітрі.

7. Використання **біоіндикаторних методів** (аналіз стану рослинності, лишайників, мікробіологічних показників ґрунтів) підтвердило чутливість екосистем до дії навіть малих концентрацій формальдегіду, що робить такі методи ефективним інструментом екологічного моніторингу.

8. **Розрахунок екологічних ризиків** показав, що потенційна небезпека впливу формальдегіду є локальною та контрольованою за умови стабільної роботи очисного обладнання, проте зростає при порушенні технологічного режиму чи аварійних ситуаціях.

9. Запропоновано **шляхи мінімізації викидів** формальдегіду: перехід на низькоемісійні смоли, удосконалення вентиляційних систем, оптимізація температурного режиму пресування, впровадження систем очищення з активованим вугіллям і каталітичного окиснення.

10. Впровадження **інноваційних екологічних технологій** на підприємстві забезпечує одночасно економічну вигоду (зменшення витрат, енергоефективність, покращення якості продукції) та позитивний екологічний ефект (зменшення викидів, поліпшення стану довкілля, підвищення соціальної довіри).

Отже, проведені дослідження підтвердили, що зменшення впливу **формальдегіду на довкілля можливе лише за системного підходу**, який поєднує технологічні інновації, правове регулювання, ефективний моніторинг і екологічну відповідальність підприємства.

Досвід ТОВ «Kronospan UA» може слугувати **прикладом екологічно орієнтованої трансформації деревообробної галузі України**, спрямованої на реалізацію принципів сталого розвитку, збереження природних ресурсів і підвищення рівня екологічної безпеки населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 р. № 1264-ХІІ.
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 р. № 2707-ХІІ.
3. Державні санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99 «Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони». – К.: МОЗ України, 1999.
4. ДСТУ ISO 16000-3:2019 «Повітря приміщень. Визначення формальдегіду та інших карбонільних сполук. Активне відбирання проб». – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
5. Гринчук, І. І., Козак, Р. М. *Екологічна безпека деревообробних підприємств України*. – Львів: Вид-во НЛТУ України, 2020.
6. Ковальчук, В. П. *Моніторинг забруднення атмосферного повітря формальдегідом у промислових зонах*. – Київ: Наукова думка, 2019.
7. Гладун, В. Д., Криворучко, С. І. *Екологічні ризики в деревообробній промисловості: оцінка та управління*. – Рівне: ОДУ, 2021.
8. Тараненко, О. П. *Хімічна безпека та токсикологічна характеристика формальдегіду*. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018.

9. Дубина, О. М., Шевчук, Л. В. *Оцінка впливу промислових викидів на компоненти довкілля.* – Київ: Екобаланс, 2020.
10. Методика розрахунку обсягів викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел. – К.: Міндовкілля України, 2021.
11. Копач, М. Й. *Вплив формальдегіду на біоіндикаторні системи довкілля.* – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2020.
12. Грищенко, О. М. *Екологічні аспекти виробництва деревинних плит.* – Київ: Ліра-К, 2017.
13. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2023 році. – К.: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2024.
14. *Environmental performance of Kronospan Ukraine.* – Internal Sustainability Report 2023. – Rivne: Kronospan UA, 2023.
15. Європейський парламент і Рада ЄС. Директива 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)».
16. Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (CLP Regulation).

17. WHO Regional Office for Europe. *Air Quality Guidelines for Europe*. – Second Edition. – Copenhagen: WHO, 2000.

18. OECD. *Formaldehyde Emission Standards for Wood-Based Panels: Comparative Review*. – Paris: OECD Publishing, 2021.

19. Петров, А. І., Лисенко, Т. С. *Системи очищення повітря від формальдегіду: сучасні технології та перспективи розвитку*. – Київ: Техніка, 2022.

20. Михайленко, Ю. Г., Орлов, В. І. *Технології уловлювання летких органічних сполук на деревообробних підприємствах*. – Рівне: НУВГП, 2023.

21. Литвин, О. О. *Методи зниження викидів формальдегіду в деревообробному виробництві*. – Чернівці: Рута, 2020.

22. European Chemicals Agency (ECHA). *Formaldehyde: Substance Evaluation Report*. – Helsinki, 2022.

23. Бойко, С. М., Паньків, Ю. В. *Еколого-економічна оцінка модернізації систем очищення на промислових підприємствах*. – Тернопіль: ТНТУ, 2021.

24. Сидоренко, І. П. *Моніторинг формальдегіду в атмосферному повітрі: методичні аспекти та практика впровадження*. – К.: Інститут гігієни праці, 2022.

25. Kronospan UA. *Environmental Management System Report.* –
Городок, Rivne Region, 2024.

ВІДГУК

наукового керівника

Магістерська робота Дзевенко Олександра Андрійовича на тему: **«Оцінка впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні впливу деревообробних підприємств»** виконана в повному обсязі згідно поставлених завдань.

Слід відзначити великий обсяг опрацьованих ним літературних джерел з даної проблеми в тому числі і англomовних.

Автор проявив здатність самостійно вирішувати поставлені перед ним задачі та належним чином подавати результати досліджень.

Робота є завершеним науковим дослідженням і рекомендується до захисту перед державною екзаменаційною комісією.

01.12.2025 р.

Галина СОМАР

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу, виконану на кафедрі ТЗНСДБЖД

Магістр Дзевенко Олександр Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **«Оцінка впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні впливу деревообробних підприємств»**

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
група ТЗНС-61м

Обсяг магістерської роботи :

Кількість листів презентації 18 слайдів записки 88 сторінок.

Характеристика випускної магістерської роботи:

а) Короткий зміст випускної магістерської роботи та прийнятих рішень: Виконані ґрунтовні теоретичні дослідження та розроблені рекомендації, щодо впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні впливу деревообробних підприємств.

б) Висновок про відповідність випускної магістерської роботи завданню:

Магістерська робота виконана у відповідності до завдання

в) Характеристика виконання кожного розділу випускної магістерської роботи, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки, передових методів роботи:

Аналіз впливу формальдегіду та його похідних на екосистеми в зоні впливу деревообробних підприємств здійснювався з використанням сучасних методик та сучасних методів обробки інформації

г) Оригінальність технологічних та конструктивних рішень

Запропоновані в магістерській роботі рішення вирізняються оригінальністю

е) Зауваження до виконаної роботи: _____

Доцільно зробити розрахунок енерговитрат на процес виробництва гранул

є) Позитивні сторони _____

ж) Оцінка оформлення графічного матеріалу та пояснювальної записки

Пояснювальна записка і графічна частини магістерської роботи оформлені згідно вимог чинних стандартів

з) Відгук про дипломну роботу магістра в цілому: _____

В цілому магістерська робота виконана в повному обсязі і рекомендується до захисту на екзаменаційній комісії

і) Інші зауваження: _____

к) Оцінка : магістерської роботи: _____

"Відмінно"

Рецензію склав зав. кафедри ТЛС і ДБВ НЛТУ України
(посада, місце праці) (прізвище, ім'я та по-батькові)

Ференц Олег Богданович

" 03 " грудня 2025 р.