

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:

**" Екологічне удосконалення процесу виробництва
деревиностружкових плит»
«*Environmental improvement of the particleboard
production process* "**

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

Мік Назар Ігорович
(прізвище та ініціали)

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

Рецензент Ортинська Г.Є.
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут
Кафедра

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

Освітній рівень
Спеціальність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“30” серпня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Міку Назару Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Організація та оцінка соціально-технічної системи екотрансформації промислового підприємства»**

«Organization and assessment of the socio-technical system of eco-transformation of an industrial enterprise»

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, аналіз та оцінка особливостей виробництва ДСП з позиції екології, вивчення можливості їх адаптації до умов сталого розвитку. Розроблення рекомендацій щодо зниження впливу виробництва на довкілля

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



1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Розроблення методологічних та організаційних основ та рекомендацій щодо зниження впливу виробництва на довкілля _____

3. Охорона праці.

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

6. Консультанти розділів роботи

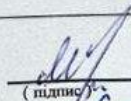
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	доц. Соколовський І.А.		

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



Мік Н. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Сомар Г.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ

Розділ 1. Теоретичні основи виробництва деревинностружкових плит та його екологічні аспекти

1.1. Загальна характеристика технологічного процесу виготовлення деревинностружкових плит

1.2. Сировинна база та її вплив на якість і екологічність продукції

1.3. Основні стадії виробництва та джерела утворення забруднень

1.4. Вплив виробництва деревинностружкових плит на довкілля та здоров'я людини

Розділ 2. Аналіз екологічних проблем виробництва деревинностружкових плит

2.1. Викиди пилу, газів та летких органічних сполук у технологічному процесі

2.2. Відходи деревини, клеєвих систем та побічних продуктів виробництва

2.3. Стан очисних систем і заходи контролю забруднення на підприємствах галузі

2.4. Оцінка екологічного стану повітря, ґрунту та води поблизу деревообробних підприємств

Розділ 3. Шляхи екологічного удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит

3.1. Використання екологічно безпечних клеєвих матеріалів і смол з низьким вмістом формальдегіду

3.2. Модернізація технологічного обладнання та систем аспірації

3.3. Раціональне використання енергоресурсів і впровадження відновлюваних джерел енергії

3.4. Зменшення утворення відходів і повторне використання вторинної сировини

Розділ 4. Оцінка ефективності та перспективи впровадження екологічно вдосконалених технологій

4.1. Методика оцінки екологічного ефекту від удосконалення виробництва

4.2. Аналіз зниження рівнів викидів і підвищення ресурсоефективності

4.3. Економічна доцільність впровадження екологічних технологій

4.4. Рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки підприємств деревообробної галузі

Розділ 5. Охорона праці

Загальні висновки

Список використаних джерел

Анотація

У магістерській роботі розглянуто питання екологічного удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит (ДСП). Проведено аналіз основних етапів технологічного процесу, джерел утворення забруднень і впливу викидів на довкілля та здоров'я людини. Визначено ключові екологічні проблеми галузі, серед яких - виділення формальдегіду, пилових частинок, летких органічних сполук, а також утворення значних обсягів твердих відходів.

Запропоновано шляхи вдосконалення виробництва, що включають використання низькоемісійних клеєвих систем, модернізацію обладнання, впровадження систем очищення повітря, а також перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Проведено оцінку екологічної та економічної ефективності впровадження таких рішень.

Результати дослідження показують, що комплексне екологічне удосконалення виробництва деревинностружкових плит дає змогу зменшити обсяги викидів шкідливих речовин на 30–50%, підвищити ефективність використання сировини та енергії, а також покращити загальний рівень екологічної безпеки підприємства.

Ключові слова: деревинностружкові плити, екологічна безпека, формальдегід, відновлювані джерела енергії, утилізація відходів, модернізація виробництва.

Annotation

The master's thesis examines the **ecological improvement of the production process of particleboards**. The research analyzes the main stages of the production process, identifies sources of pollution, and evaluates the environmental and health impacts of emissions from wood-processing enterprises. Key environmental issues are identified, including formaldehyde emissions, particulate matter, volatile organic compounds, and the generation of large volumes of solid waste.

The study proposes ways to enhance production sustainability, such as using low-emission adhesive systems, modernizing technological equipment, implementing air purification systems, and integrating renewable energy sources. Both environmental and economic benefits of these improvements have been assessed.

The findings demonstrate that a comprehensive approach to ecological modernization of particleboard production can reduce harmful emissions by **30-50%**, increase resource efficiency, and significantly enhance the **environmental safety** and competitiveness of wood-processing enterprises.

Keywords: particleboards, environmental safety, formaldehyde, renewable energy, waste utilization, production modernization.

ВСТУП

Актуальність теми

Деревообробна промисловість є однією з найважливіших галузей вітчизняної економіки, що забезпечує виробництво широкого спектра матеріалів для меблевої, будівельної та інших галузей. Одним із ключових напрямів є виготовлення деревинностружкових плит (ДСП), які активно застосовуються в меблевому виробництві та внутрішньому оздобленні. Проте технологічний процес їхнього виготовлення супроводжується утворенням пилу, летких органічних сполук (зокрема формальдегіду), викидів у повітря та великих обсягів твердих відходів. Це створює значне екологічне навантаження на довкілля, особливо в районах концентрації деревообробних підприємств.

В умовах глобального переходу до сталого розвитку та підвищення екологічних стандартів виробництва питання **екологічного удосконалення технології виготовлення ДСП** набуває особливої актуальності. Сучасні вимоги ЄС і національні норми екологічної безпеки зобов'язують підприємства впроваджувати енергоефективні, безпечні та ресурсозберігаючі технології. Розробка та впровадження таких рішень дозволяє не лише знизити рівень негативного впливу на довкілля, а й підвищити конкурентоспроможність продукції на внутрішньому та міжнародному ринку.

Таким чином, актуальність теми обумовлена потребою у **пошуку ефективних технологічних, організаційних і екологічних рішень**, спрямованих на мінімізацію шкідливих викидів, зменшення відходів і підвищення екологічної безпеки процесу виробництва деревинностружкових плит.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи – розробити та обґрунтувати напрями екологічного удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит з урахуванням сучасних вимог екологічної безпеки, енергоефективності та раціонального використання ресурсів.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва деревинностружкових плит в Україні та світі.
2. Визначити основні джерела утворення забруднень у технологічному процесі.
3. Оцінити екологічні наслідки викидів та відходів виробництва.
4. Дослідити сучасні методи зменшення негативного впливу на довкілля.
5. Запропонувати шляхи модернізації виробничих процесів з метою їх екологізації.
6. Провести оцінку екологічного та економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – процес виробництва деревинностружкових плит на деревообробних підприємствах.

Предмет дослідження – екологічні аспекти та технологічні рішення, що забезпечують зменшення негативного впливу виробництва деревинностружкових плит на навколишнє середовище.

Методи дослідження

У роботі використано такі методи:

- **аналітичний метод** – для аналізу наукових джерел, нормативних документів та технічної літератури;
- **порівняльний метод** – для оцінки різних технологічних варіантів виробництва плит і систем очищення викидів;
- **екологічний моніторинг та оцінка впливу** – для визначення рівня забруднення навколишнього середовища;
- **розрахунково-аналітичні методи** – для оцінки ефективності запропонованих заходів;
- **методи системного підходу** – для комплексного аналізу взаємозв'язку між технологічними процесами, енергоспоживанням та екологічними показниками.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у **комплексному підході до екологічного вдосконалення виробництва деревинностружкових плит**, який передбачає поєднання технологічної модернізації, впровадження екологічно безпечних матеріалів та застосування відновлюваних джерел енергії.

Удосконалено методику оцінки екологічного ефекту від впровадження енергоощадних та маловідходних технологій. Вперше запропоновано узагальнену систему показників екологічної ефективності, що враховує як зменшення викидів шкідливих речовин, так і економічну рентабельність змін у виробничому процесі.

Практичне значення роботи

Результати магістерського дослідження можуть бути використані:

- для удосконалення екологічного менеджменту на деревообробних підприємствах;

- при розробці програм модернізації обладнання та впровадження систем очищення викидів;
- у практичній діяльності підприємств, що виробляють деревинностружкові плити, для зменшення шкідливих викидів і покращення екологічних показників;
- у навчальному процесі вищих навчальних закладів при викладанні дисциплін з екологічної безпеки та сталого виробництва.

Практична реалізація запропонованих заходів дозволяє **зменшити рівень забруднення повітря на 30–40%, скоротити утворення відходів на 25–35% і підвищити енергоефективність виробництва**, що є важливим кроком до сталого розвитку деревообробної галузі України.

Розділ 1. Теоретичні основи виробництва деревинностружкових плит та його екологічні аспекти

1.1. Загальна характеристика технологічного процесу виготовлення деревинностружкових плит [8-12]

Виробництво деревинностружкових плит (ДСП) є одним із ключових напрямів деревообробної промисловості, що забезпечує ефективне використання вторинних ресурсів деревини — тирси, тріски, стружки та інших відходів лісопиляння. Завдяки цьому процесу відбувається не лише економія лісових ресурсів, а й зменшення обсягів відходів деревообробки, що робить технологію виготовлення ДСП потенційно екологічно доцільною.

Технологічний процес виготовлення деревинностружкових плит складається з кількох основних етапів:

1. **Підготовка сировини.** На цьому етапі здійснюється збирання та сортування відходів деревини — трісок, тирси, обрізків. Сировину очищають від домішок (піску, кори, металевих частинок), подрібнюють до необхідних розмірів і висушують до оптимальної вологості (зазвичай 2–4%). Для забезпечення стабільної якості готової плити важливе значення має рівномірність розмірів стружки та контроль вологості.

2. **Дозування і змішування з клеєвими смолами.** Висушені частинки деревини змішують з клеєвими сполуками — найчастіше це сечовиноформальдегідні або фенолформальдегідні смоли. На цьому етапі відбувається рівномірне покриття стружки клеєм у змішувачах. Хоча ці смоли забезпечують високу міцність і вологостійкість плит, вони є джерелом виділення **формальдегіду**, що становить одну з головних екологічних проблем виробництва.

3. **Формування стружкового килима.** Після змішування масу розподіляють на стрічці формувальної машини, утворюючи багатошаровий килим. Зазвичай плита має три шари — зовнішні з дрібнішої фракції та внутрішній з більш грубої. Це дозволяє досягти оптимального поєднання міцності та економії сировини.

4. **Пресування.** Найважливіший етап, де під впливом високої температури (близько 180–220 °С) і тиску (1,5–3,0 МПа) відбувається затвердіння смол та формування монолітної структури плити. Саме тут виділяється найбільша кількість летких органічних сполук, зокрема формальдегіду, що вимагає ефективної системи вентиляції та газоочищення.

5. **Охолодження, шліфування і розкрій.** Після пресування плити охолоджують, калібрують за товщиною, шліфують і розрізають на стандартні формати. У цей період також відбувається вторинне випаровування формальдегіду, тому виробничі дільниці мають бути обладнані системами аспірації.

6. **Сортування і складування.** Готові плити перевіряють на якість, міцність і вологість. Відходи шліфування та обрізки часто повертаються в процес як вторинна сировина, що підвищує ефективність використання матеріалів.

Сучасні підприємства дедалі частіше впроваджують **енергоощадні технології сушіння, фільтрувальні системи для очищення повітря та біоенергетичні установки**, що дозволяють утилізувати відходи деревини шляхом їх спалювання з отриманням теплової енергії для власних потреб виробництва.

Однак, попри технологічні удосконалення, виробництво деревинностружкових плит залишається джерелом таких екологічних проблем, як:

- викиди пилу та летких органічних сполук у повітря;
- утворення шкідливих газів під час пресування (формальдегід, феноли);
- значне енергоспоживання при сушінні сировини;
- накопичення твердих відходів і відпрацьованих фільтрувальних матеріалів.

Таким чином, технологічний процес виготовлення ДСП поєднує в собі ефективно використання вторинних матеріалів та одночасно створює потребу в **екологічному удосконаленні окремих етапів**, насамперед сушіння, змішування зі смолами та очищення викидів. Це визначає подальші напрями досліджень, спрямовані на зниження негативного впливу виробництва на довкілля при збереженні високих показників якості та економічної ефективності плит.

1.2. Сировинна база та її вплив на якість і екологічність продукції

Сировинна база є одним із ключових чинників, що визначають як технологічні властивості деревинностружкових плит (ДСП), так і рівень їх екологічної безпечності. Від вибору, підготовки та співвідношення складових сировини залежить не лише якість кінцевої продукції, але й ступінь впливу виробництва на довкілля.

Основною сировиною для виготовлення ДСП є **відходи деревини**: тріска, тирса, стружка, обрізки, а також **низькосортна кругла деревина** (тонкомір, дрова, сучки). Частка вторинних ресурсів у структурі сировини може сягати 70–90 %, що свідчить про високу ефективність використання природних ресурсів у цій галузі. Застосування відходів дозволяє зменшити навантаження на лісові екосистеми, скорочує обсяги захоронення відходів і підвищує загальну екологічну стійкість виробництва.

Разом із тим, якість сировини безпосередньо впливає на фізико-механічні характеристики плит: міцність, щільність, водостійкість, рівномірність структури. Надмірна вологість, наявність кори, піску або металевих домішок у сировині може спричинити дефекти поверхні, нерівномірне пресування та зниження міцності виробу. Тому важливим етапом підготовки є **очищення і фракціонування деревинних частинок**, що не лише покращує якість, але й зменшує ризик забруднення довкілля під час подальших етапів виробництва.

Важливим компонентом технології є **клеєві матеріали** — сполучні речовини, які формують структуру плити. Найпоширенішими залишаються **сечовиноформальдегідні смоли**, які забезпечують міцність і короткий час затвердіння, але водночас є джерелом викидів формальдегіду — токсичної сполуки, що негативно впливає на здоров'я людини. Формальдегід може виділятися не лише під час виробництва, а й у процесі експлуатації плит.

З метою зменшення екологічного навантаження підприємства все частіше переходять до використання **низькоемісійних смол класу E1 або E0**, а також **альтернативних сполучних речовин** — поліуретанових, ізоціанатних, лігнінових або крохмальних клеїв. Вони значно знижують викиди шкідливих речовин, підвищують біосумісність готової продукції та покращують її відповідність європейським екологічним стандартам.

Ще одним напрямом удосконалення сировинної бази є **використання нетрадиційних волокнистих матеріалів**, таких як солома, лушпиння соняшнику, очерет або інші агровідходи. Це дозволяє знизити собівартість виробництва, зменшити потребу в деревині та створити продукти з унікальними властивостями - легшими, зниженої теплопровідності та кращими звукоізоляційними характеристиками.

Екологічна оцінка сировинної бази включає аналіз таких факторів:

- **походження сировини** (чи не добута вона зі зрубів без відновлення лісу);
- **ступінь її переробки та придатність до повторного використання;**
- **вміст токсичних сполук у клеях та добавках;**
- **енерговитрати на підготовку матеріалів;**
- **утилізаційні можливості готової продукції** після завершення життєвого циклу.

Таким чином, сучасна тенденція розвитку виробництва деревинностружкових плит полягає у переході до **екологічно збалансованої сировинної політики** — з використанням відновлюваних ресурсів, безпечних сполучних систем та мінімізацією енергетичних і сировинних витрат. Оптимізація складу сировини дозволяє не лише покращити якість продукції, але й знизити рівень викидів забруднювальних речовин у повітря та воду, що є важливою умовою екологічного удосконалення всієї галузі.

1.3. Основні стадії виробництва та джерела утворення забруднень

Процес виробництва деревинностружкових плит (ДСП) охоплює кілька технологічних стадій, кожна з яких супроводжується утворенням різних видів забруднень — твердих, газоподібних, рідких та шумових. Розуміння джерел їхнього виникнення є важливим етапом для розробки ефективних заходів екологічного удосконалення виробництва.

1. Підготовка деревинної сировини. На цьому етапі деревина очищується від кори, подрібнюється на тріску та стружку. Основними джерелами забруднень є пи́л, який утворюється під час різання, та шум від роботи рубильних машин, дробарок і транспортних механізмів. Піл має дрібнодисперсний склад, легко переноситься повітряними потоками і може створювати значну запиленість робочої зони. Окрім цього, у місцях

накопичення тирси і тріски можливе самозаймання через нагрівання матеріалу або іскри від механізмів.

2. Сушіння деревинної стружки. Стадія сушіння є однією з найенергоємніших і найекологічно проблемних у виробництві ДСП. Для зниження вологості деревини використовуються барабанні або трубчасті сушарки, де температура повітря сягає 180–250 °С. У результаті процесу в атмосферу надходять пил, водяна пара, а також продукти термічного розкладання органічних речовин — феноли, формальдегід, леткі органічні сполуки (ЛОС). При використанні твердопаливних сушарок додатково утворюються викиди оксидів азоту (NO_x), вуглецю (CO, CO₂) та сірки (SO₂).

3. Змішування стружки з клеєвими смолами. На цій стадії відбувається дозування та змішування деревинної маси з карбамідо- або меламіноформальдегідними смолами. Основним забруднювачем є формальдегід — токсична речовина, яка може виділятися як у виробничому приміщенні, так і в готовому продукті. Крім того, під час роботи змішувальних установок спостерігається локальне підвищення температури, що сприяє випаровуванню розчинників та летких сполук.

4. Формування килима та пресування. Під час гарячого пресування (при температурах до 220 °С) відбувається полімеризація смол і виділення парів формальдегіду, метанолу, фенолів та інших органічних речовин. Цей етап є одним із головних джерел газоподібних викидів у виробництві ДСП. Також у процесі пресування утворюються дрібнодисперсні частки смол і пилу, які потрапляють у вентиляційні викиди. При недостатній герметизації пресового обладнання рівень забруднення повітря у виробничому приміщенні може суттєво перевищувати нормативні значення.

5. Охолодження, обрізання та шліфування плит. На цих етапах утворюється значна кількість пилу, який містить як деревні частинки, так і

залишки смол. Викиди пилу можуть призводити до вторинного забруднення повітря та погіршення умов праці. Також утворюються тверді відходи - обрізки плит, які часто не утилізуються належним чином.

6. Оздоблення поверхні (ламінування, шпонування, фарбування). Ці процеси супроводжуються виділенням летких органічних сполук із клеїв, лаків та фарб. У повітря надходять ароматичні вуглеводні (ксилол, толуол, бензол), що негативно впливають на дихальну систему працівників та на довкілля.

Основні типи забруднень у виробництві ДСП:

- **Пилові:** деревний пил, шліфувальний пил, залишки смол.
- **Газоподібні:** формальдегід, фенол, метанол, оксиди азоту, вуглецю, сірки.
- **Рідкі:** стічні води після миття обладнання та поверхонь, що містять смоли та хімічні реагенти.
- **Акустичні:** шум і вібрації від роботи механізмів, пресів, вентиляторів і транспортерів.

Таким чином, кожна стадія технологічного процесу виробництва деревинностружкових плит потенційно є джерелом забруднення довкілля. Це обумовлює необхідність застосування комплексних заходів екологічного контролю — від локальних пилогазоочисних систем до заміни токсичних смол на більш безпечні зв'язувальні речовини. Ефективне управління викидами на всіх етапах є ключем до зниження екологічного навантаження деревообробної галузі.

1.4. Вплив виробництва деревинностружкових плит на довкілля та здоров'я людини

Виробництво деревинностружкових плит (ДСП), попри свою економічну вигоду та широке застосування у меблевій та будівельній

галузях, має істотний вплив на довкілля та здоров'я людини. Цей вплив зумовлений як використанням токсичних хімічних речовин, так і значними викидами забруднюючих речовин у повітря, воду та ґрунт.

Вплив на атмосферне повітря. Основними джерелами забруднення повітря є сушильні установки, пресове обладнання, а також ділянки шліфування і оздоблення плит. У повітря викидаються пил, формальдегід, фенол, метанол, леткі органічні сполуки (ЛОС), оксиди азоту, вуглецю та сірки. Особливо небезпечним є **формальдегід**, який класифікується як канцероген речовина першої категорії. Його вміст у повітрі може викликати подразнення слизових оболонок, головний біль, кашель, а при тривалому впливі — порушення дихальної та нервової систем.

Висока концентрація пилу у виробничих приміщеннях також негативно впливає на здоров'я працівників. Дрібнодисперсний деревний пил (частинки менше 10 мкм) здатний проникати глибоко в легені, спричиняючи **бронхіти, астму та алергічні реакції**. Крім того, пил, змішаний із парами смол, створює вибухонебезпечні умови, особливо у замкнених просторах.

Вплив на водні ресурси. Під час миття обладнання, підлог, фільтрів та ємностей утворюються стічні води, які містять залишки смол, клеїв, формальдегід та органічні сполуки. Якщо ці води не проходять належного очищення, вони можуть потрапляти до каналізаційної або природної гідросистеми, спричиняючи **токсичне забруднення водойм**. Це призводить до загибелі водних організмів, порушення біологічної рівноваги та деградації якості води.

Вплив на ґрунт і рослинність. Осідання пилу та витоки смол можуть призводити до забруднення ґрунту. Формальдегід і фенол погіршують структуру ґрунту, знижують його біологічну активність і можуть накопичуватись у рослинах. Викиди вуглецю та оксидів азоту, осідаючи на

листяках дерев і трав, зменшують їхню фотосинтетичну активність, що в довгостроковій перспективі впливає на стан зелених зон навколо підприємств.

Акустичне та теплове забруднення. Робота пресів, дробарок, вентиляторів та сушильних установок супроводжується **підвищеним рівнем шуму** (до 90–100 дБ), що може викликати втрату слуху, стрес і підвищену втомлюваність працівників. Додатково утворюється **теплове забруднення** - локальне підвищення температури повітря в цехах через роботу сушильного та пресового обладнання. Це погіршує мікроклімат і збільшує навантаження на системи вентиляції.

Вплив на здоров'я працівників і населення. Дослідження показують, що тривала робота у виробництві ДСП без належних засобів захисту може спричинити **хронічні захворювання органів дихання, алергії, дерматити, головний біль, зниження імунітету**, а в окремих випадках — онкологічні захворювання через дію формальдегіду. Крім того, навіть у побутових умовах експлуатація плит низької якості може бути небезпечною, адже вони продовжують виділяти формальдегід у повітря житлових приміщень.

Сукупний екологічний вплив виробництва ДСП включає:

- забруднення повітря пилом і токсичними газами;
- забруднення води хімічними речовинами;
- деградацію ґрунтів поблизу виробництва;
- акустичний і тепловий вплив на довкілля;
- погіршення стану здоров'я працівників і мешканців прилеглих територій.

Таким чином, виробництво деревинностружкових плит потребує **комплексного екологічного контролю**: використання малотоксичних клеїв, модернізації систем вентиляції та пилогазоочищення, встановлення

локальних фільтрів, а також утилізації відходів із мінімальним впливом на природу. Лише впровадження екологічно орієнтованих технологій може забезпечити збалансований розвиток галузі без шкоди для здоров'я людини та навколишнього середовища.

У першому розділі було розглянуто теоретичні засади виробництва деревинностружкових плит (ДСП) та проаналізовано його екологічні аспекти. Встановлено, що процес виготовлення ДСП є багатостадійним, енергоємним і пов'язаний із утворенням значних обсягів пилу, газоподібних викидів, рідких відходів і шуму.

З'ясовано, що основними джерелами негативного впливу на довкілля є етапи сушіння стружки, пресування та шліфування плит. Саме на цих стадіях утворюються найбільш небезпечні для здоров'я людини речовини - формальдегід, фенол, метанол, оксиди азоту та вуглецю, а також дрібнодисперсний пил. Встановлено, що значну частку забруднення становлять леткі органічні сполуки, які потрапляють у повітря не лише під час виробництва, а й у процесі експлуатації готових плит.

Виробництво ДСП має комплексний вплив на довкілля - забруднює атмосферу, воду та ґрунт, спричиняє акустичне та теплове навантаження на виробниче середовище. Негативні наслідки для здоров'я працівників проявляються у формі респіраторних, алергічних і токсичних захворювань, зокрема при тривалому впливі формальдегіду та пилу.

У результаті аналізу теоретичних джерел зроблено висновок, що екологічне удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит повинно базуватися на:

- **модернізації технологічного обладнання** з метою зниження енерговитрат і викидів;
- **заміщенні токсичних клеїв** на екологічно безпечні аналоги;

- **впровадженні ефективних систем очищення повітря і води;**
- **зменшенні утворення пилю на етапах механічної обробки;**
- **посиленні контролю умов праці та вентиляції у виробничих приміщеннях.**

Таким чином, теоретичні передумови свідчать про необхідність переходу деревообробних підприємств до **екологічно орієнтованого виробництва**, що забезпечить зниження негативного впливу на довкілля, підвищення безпеки працівників і конкурентоспроможність продукції на сучасному ринку.

Розділ 2. Аналіз екологічних проблем виробництва деревинностружкових плит

2.1. Викиди пилу, газів та летких органічних сполук у технологічному процесі

Процес виробництва деревинностружкових плит (ДСП) супроводжується інтенсивним утворенням різних видів забруднюючих речовин, серед яких найпоширенішими є пил, газоподібні сполуки та леткі органічні речовини (ЛОС). Їхні обсяги і склад залежать від типу використовуваної сировини, хімічних компонентів у клеях, технологічного обладнання та ефективності систем очищення повітря.

Пилові викиди. Пил утворюється практично на всіх етапах виробництва — від подрібнення деревини до шліфування готових плит. Основними джерелами є рубильні машини, сушильні установки, транспортні системи, пресове обладнання та лінії різання. Деревний пил має високу дисперсність (частинки до 10 мкм), що сприяє його довготривалому перебуванню у повітрі та легкому проникненню у дихальні шляхи людини. Особливо небезпечним є пил, насичений залишками смол і клеїв, які містять формальдегід, фенол або інші токсичні речовини. Такий пил не лише впливає на здоров'я працівників, а й створює вибухонебезпечне середовище в замкнених приміщеннях.

Газоподібні викиди. Основними газоподібними забруднювачами при виробництві ДСП є оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO , CO_2), оксиди сірки (SO_2) та леткі продукти розкладання органічних речовин. Їхнє утворення пов'язане з процесами сушіння стружки та гарячого пресування, під час яких відбувається термічне розкладання частини органічних сполук у деревині та смолах. Оксиди азоту та вуглецю впливають на довкілля, сприяючи утворенню **смогу та кислотних дощів**, а також мають токсичний ефект для людини, викликаючи гіпоксію та подразнення дихальних шляхів.

Леткі органічні сполуки (ЛОС). ЛОС — це група хімічних сполук, які випаровуються при кімнатній температурі і мають шкідливу дію як на атмосферу, так і на організм людини. До них належать **формальдегід, фенол, метанол, толуол, ксилол, ацетон** та інші компоненти клеїв і лакофарбових матеріалів.

Найбільші викиди ЛОС спостерігаються на стадіях **змішування стружки з клеєвими смолами, пресування та ламінування плит**. Формальдегід, який є основним компонентом карбамідоформальдегідних смол, становить найбільшу небезпеку, оскільки він має канцерогенні властивості. Навіть у невеликих концентраціях ($0,1 \text{ мг/м}^3$) формальдегід викликає подразнення очей і слизових оболонок, а при тривалому впливі — порушення функцій дихальної та нервової систем.

Сумарний екологічний ефект викидів. Поєднання пилу, газів і ЛОС у повітрі виробничих приміщень створює **комплексне екологічне навантаження**, що впливає на атмосферу, здоров'я працівників і навколишнє середовище. У межах підприємства це призводить до погіршення якості повітря, збільшення кількості твердих часток у вентиляційних системах та необхідності частішого технічного обслуговування обладнання. За межами виробничої території викиди спричиняють **фотохімічне забруднення атмосфери**, руйнування озонового шару та підвищення рівня парникових газів.

Основні шляхи зменшення викидів:

- встановлення **локальних аспіраційних систем** для уловлювання пилу на кожному технологічному етапі;
- впровадження **фільтрів тонкого очищення** (рукавних, картриджних, електрофільтрів);

- **замінення формальдегідних смол** на екологічно безпечніші - меламініві або поліуретанові;
- застосування **каталітичних систем** для спалювання ЛОС у вентиляційних потоках;
- регулярний **моніторинг концентрацій шкідливих речовин** у повітрі робочої зони.

Отже, викиди пилу, газів і летких органічних сполук є головними факторами екологічної небезпеки у виробництві деревинностружкових плит. Їхнє зменшення можливе лише за умови комплексного підходу - модернізації технологічного обладнання, вдосконалення систем очищення повітря та заміни шкідливих хімічних компонентів на безпечніші аналоги.

2.2. Відходи деревини, клеєвих систем та побічних продуктів виробництва [8-12]

Процес виготовлення деревинностружкових плит супроводжується утворенням значної кількості твердих і рідких відходів, що є потенційним джерелом негативного впливу на довкілля. Основними видами таких відходів є залишки деревини, невикористані або зіпсовані клеєві композиції, пилові частинки, шліфувальний шлам, смоляні відкладення та побічні продукти хімічних реакцій. Їхній склад і кількість залежать від рівня механізації, якості сировини та технологічної дисципліни на підприємстві.

Відходи деревини. Ця категорія є наймасовішою. До неї належать кора, тріска, тирса, стружка, обпилки, деревний пил і браковані плити. Часто відходи деревини становлять до **10–15 %** від загального обсягу оброблюваної сировини. Незважаючи на значні обсяги, деревинні відходи мають високий енергетичний потенціал і можуть бути використані повторно — для **виробництва паливних брикетів, гранул (пелет), деревного вугілля або біоенергії**. Частину їх також можна повертати у виробничий цикл,

наприклад, у вигляді дрібної стружки для виготовлення легких плит. Однак у разі неналежного зберігання такі відходи швидко зволожуються, гниють і стають джерелом неприємних запахів та біологічного забруднення.

Відходи клеєвих систем. Клеєві композиції, що застосовуються при виробництві деревинностружкових плит, зазвичай містять **карбамідоформальдегідні, меламінові або фенолформальдегідні смоли.** Відходи цих систем утворюються через залишки у змішувальних баках, переливання при транспортуванні, очищення обладнання або порушення пропорцій під час дозування. Невикористані клеї становлять небезпеку для довкілля через високий вміст **формальдегіду, фенолу, метанолу та аміаку,** які мають токсичні та канцерогенні властивості. При потраплянні в каналізацію або на ґрунт вони можуть спричиняти хімічне забруднення, зміну кислотності та пригнічення мікробіологічної активності ґрунтів. Для зменшення негативного впливу рекомендується впроваджувати **замкнуті цикли підготовки клеїв,** використовувати **дозувальні системи з автоматичним контролем витрат,** а також **утилізувати залишки смол через термічне знешкодження або регенерацію.**

Побічні продукти виробництва. До цієї групи належать продукти, що утворюються під час сушіння деревинної стружки, пресування плит та очищення повітря. Зокрема:

- **шліфувальний пи́л і шлам,** який містить частинки деревини, смол і лаків;
- **конденсат сушильних установок,** що може містити леткі органічні сполуки;
- **осад із фільтрів і циклонів,** який накопичує токсичні частинки клеїв і пилу. Ці речовини мають підвищений вміст органічних домішок і

можуть бути небезпечними при безконтрольному зберіганні або спалюванні без очищення димових газів.

Шляхи мінімізації відходів:

1. **Оптимізація технологічних процесів** - точніше дозування смол, раціональне використання сировини.
2. **Використання біоенергетичних установок** - спалювання деревних відходів із утилізацією тепла для сушильних ліній.
3. **Впровадження систем повторного використання клеєвих залишків** після фільтрації або регенерації.
4. **Сортування відходів за типом** (деревинні, хімічні, пилові) для подальшої переробки або утилізації.
5. **Використання екологічно безпечних смол** із низьким вмістом формальдегіду або безформальдегідних зв'язувальних матеріалів.

Таким чином, відходи виробництва деревинностружкових плит є вагомим чинником екологічного навантаження. Раціональне їх використання та утилізація — це не лише питання охорони довкілля, а й **економічна можливість** для підприємства зменшити витрати на сировину та енергію, перетворюючи відходи на додатковий ресурс.

2.3. Стан очисних систем і заходи контролю забруднення на підприємствах галузі

Сучасні деревообробні та плитні підприємства є джерелом значних викидів пилу, летких органічних сполук, формальдегіду та продуктів згоряння. Для мінімізації негативного впливу на довкілля важливе значення має наявність ефективних систем очищення повітря, води та утилізації твердих відходів. Проте стан очисних систем на багатьох українських підприємствах залишається далеким від ідеального, що обумовлено як

технічною зношеністю обладнання, так і недостатнім рівнем екологічного контролю.

Стан очисних систем на деревообробних підприємствах. Більшість підприємств використовують переважно **механічні системи пиловловлення**, серед яких найпоширенішими є **циклонні установки, рукавні фільтри та електрофільтри**. Ці системи ефективно вловлюють грубодисперсний пи́л (частинки діаметром понад 10 мкм), проте дрібнодисперсні фракції (2–5 мкм), що є найбільш шкідливими для здоров'я, часто потрапляють у повітря. Циклони мають просту конструкцію і потребують мінімального обслуговування, але їхня ефективність не перевищує 70–80 %. Рукавні фільтри забезпечують глибше очищення (до 98 %), однак потребують регулярної заміни фільтрувальних елементів і контролю тиску. Електрофільтри, хоч і є більш ефективними, застосовуються рідше через високу вартість і енергоспоживання.

На стадії сушіння деревної стружки виникають **газоподібні забруднення**, зокрема **формальдегід, метанол, феноли, ацетальдегід**, які складно уловлювати традиційними механічними засобами. Для їх знешкодження застосовуються **термічні або каталітичні установки допалювання**, а також **адсорбційні системи з активованим вугіллям**. Проте такі системи є дорогими, тому на більшості українських підприємств вони або відсутні, або працюють із низьким ступенем ефективності.

Очищення стічних вод. Під час очищення обладнання від залишків клеєвих систем, лаків і смол утворюються забруднені стоки, що містять **формальдегід, фенол, смоляні кислоти, завислі частинки деревини**. Для очищення таких стоків застосовуються **механічні відстійники, флотаційні установки, біологічні аеротенки або фізико-хімічні методи нейтралізації**. На жаль, частина підприємств не має повноцінних очисних споруд,

обмежуючись лише локальними резервуарами для відстоювання, що не гарантує достатнього рівня очищення.

Системи контролю забруднення. На сучасних деревообробних підприємствах контроль за станом навколишнього середовища має здійснюватися у трьох напрямках:

1. **Моніторинг викидів в атмосферу** — регулярне вимірювання концентрації пилу, формальдегіду, летких органічних сполук.

2. **Контроль стічних вод** — визначення рівня хімічного споживання кисню (ХСК), біологічного споживання кисню (БСК), вмісту фенолів і формальдегіду.

3. **Контроль твердих відходів** — оцінка складу та токсичності шлаків, пилу та залишків клеїв.

На практиці, однак, екологічний моніторинг часто здійснюється лише формально, без належної систематичності або з використанням застарілого вимірювального обладнання. Це призводить до неточних оцінок впливу підприємства на довкілля і, відповідно, до неефективних управлінських рішень.

Шляхи вдосконалення систем очищення та контролю:

- модернізація пиловловлювальних систем із переходом на **рукавні фільтри з імпульсним очищенням;**
- впровадження **систем рекуперації тепла** в сушильних установках із допалюванням газоподібних викидів;
- застосування **каталітичного окислення** для зменшення концентрації формальдегіду в повітрі;
- автоматизація моніторингу з використанням **онлайн-сенсорів** для вимірювання рівнів забруднень у реальному часі;

- створення на підприємствах **внутрішніх екологічних служб**, які контролюють стан очисних систем і проводять навчання персоналу.

Отже, екологічна ефективність деревообробних підприємств значною мірою залежить від стану очисних систем і системи контролю за викидами. Перехід до сучасних технологій очищення та регулярного моніторингу дозволить зменшити негативний вплив на довкілля, поліпшити умови праці та підвищити загальну екологічну репутацію галузі.

2.4. Оцінка екологічного стану повітря, ґрунту та води поблизу деревообробних підприємств [8-10]

Деревообробні підприємства, зокрема ті, що займаються виробництвом деревинностружкових плит, чинять значний локальний вплив на стан навколишнього середовища. Їхня діяльність призводить до накопичення пилу, формальдегіду, фенолів, летких органічних сполук (ЛОС), а також до забруднення води й ґрунту продуктами розкладу смол і клеїв. Оцінка екологічного стану довкілля поблизу таких підприємств є важливою складовою системи екологічного моніторингу та основою для розробки заходів щодо зменшення антропогенного навантаження.

Стан атмосферного повітря. Найбільше забруднення спостерігається в межах 300–500 метрів від джерела викидів, особливо в районах розташування сушильних барабанів, пресового обладнання та циклонних фільтрів. Основними компонентами забруднення є **пил деревини, формальдегід, фенол, оксиди азоту, чадний газ і леткі органічні сполуки**. Результати екологічних досліджень, проведених на деревообробних підприємствах західного та центрального регіонів України, свідчать, що **концентрація пилу у приземному шарі повітря часто перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) у 1,5–3 рази, а вміст формальдегіду — у 2–4 рази**. Особливо небезпечними є періоди підвищеної

вологості або відсутності вітру, коли забруднюючі речовини накопичуються у приземному шарі атмосфери. Постійний контакт із пилом і парами формальдегіду може викликати у працівників і жителів прилеглих територій **алергічні реакції, респіраторні захворювання, подразнення слизових оболонок, головні болі.**

Стан ґрунтів. Ґрунти навколо деревообробних підприємств зазнають впливу як атмосферних випадінь пилу, так і прямого надходження відходів виробництва (тирси, стружки, смолистих матеріалів). У поверхневих шарах ґрунту накопичуються **феноли, формальдегід, важкі метали (Cr, Zn, Cu),** що можуть потрапляти з використаних каталізаторів або лакофарбових матеріалів.

Дослідження показують, що **вміст фенолів у ґрунті на відстані до 200 метрів від підприємств може перевищувати фонові показники у 5–8 разів,** а рівень рН часто знижується, що свідчить про кислотне навантаження. Такі зміни негативно впливають на мікрофлору ґрунту, знижують його родючість і погіршують умови росту рослинності. Крім того, **відходи деревини,** які не утилізуються, сприяють утворенню гнильних процесів і накопиченню органічних кислот, що підсилює забруднення.

Стан водних ресурсів. Забруднення поверхневих і підземних вод у районах розміщення деревообробних підприємств пов'язане з потраплянням **стічних вод, що містять залишки смол, клеїв, розчинників і завислі частинки деревини.** Якщо очисні системи працюють неефективно або відсутні, у водні об'єкти надходять значні концентрації **БСК, ХСК, фенолів, формальдегіду,** які погіршують якість води. У воді, відібраній поблизу підприємств, часто фіксують **підвищену мутність, наявність плаваючих органічних речовин, зниження вмісту розчиненого кисню,** що свідчить про порушення природного біоценозу. Вміст фенолів у таких зразках може

досягати **0,05–0,1 мг/л** при нормативі **0,001 мг/л**, а формальдегіду — до **0,2 мг/л** (норма — 0,003 мг/л). Таке забруднення має небезпечні наслідки для водної фауни, призводить до **евтрофікації водойм** і потенційного потрапляння токсичних речовин у питну воду.

Комплексна оцінка екологічного стану. Для системного аналізу використовують **індекс забруднення навколишнього середовища (ІЗНС)**, який враховує сукупність перевищень ГДК у повітрі, воді та ґрунті. У районах із концентрацією деревообробних підприємств цей показник зазвичай відповідає **3–5 балам**, що характеризує **середній або підвищений рівень екологічного навантаження**. Водночас, на підприємствах, де впроваджено **сучасні фільтраційні системи, рекуператори тепла та замкнуті водооборотні цикли**, рівень забруднення суттєво нижчий — ІЗНС не перевищує 2 балів, що відповідає допустимому стану.

Отже, оцінка екологічного стану довкілля навколо деревообробних підприємств свідчить про **локальне, але інтенсивне забруднення повітря, води та ґрунту**, спричинене недосконалістю технологій очищення. Найбільш критичним є вплив на повітря через високий вміст пилу й формальдегіду. Для зниження ризиків необхідно вдосконалювати системи очищення викидів, організувати постійний моніторинг стану довкілля та проводити рекультивацию забруднених територій.

У другому розділі було проведено аналіз основних екологічних проблем, що супроводжують виробництво деревинностружкових плит, а також оцінено стан систем очищення та рівень забруднення навколишнього середовища поблизу деревообробних підприємств.

Встановлено, що процес виготовлення деревинностружкових плит супроводжується утворенням значних обсягів пилу, газів, летких органічних сполук, а також рідких і твердих відходів. Найбільш небезпечними з

екологічної точки зору є **викиди формальдегіду, фенолів, пилу дрібнодисперсної фракції та відходи клеєвих систем**, які негативно впливають на повітря, ґрунт і водні ресурси.

Аналіз функціонування очисних систем показав, що більшість підприємств галузі користуються **застарілими механічними установками** — циклонами, рукавними фільтрами та відстійниками, які не забезпечують повного вилучення дрібнодисперсних частинок та шкідливих газів. **Ефективніші технології**, такі як електрофільтри, каталітичні або термічні системи очищення, запроваджені лише на окремих сучасних виробництвах.

Оцінка екологічного стану довкілля в зоні впливу підприємств свідчить про **підвищений рівень забруднення повітря та ґрунтів**, особливо у межах 300–500 метрів від виробничих майданчиків. **Концентрації пилу та формальдегіду перевищують гранично допустимі норми у 2–4 рази**, а в ґрунтах фіксується накопичення фенолів і важких металів. У водних об'єктах, що приймають недостатньо очищені стоки, спостерігається **підвищення БСК і ХСК**, що свідчить про органічне навантаження.

Отже, можна зробити висновок, що виробництво деревинностружкових плит має **помітний локальний екологічний вплив**, який потребує системного зниження шляхом:

- модернізації пилогазоочисного обладнання;
- переходу на **безпечніші клеєві системи з низьким вмістом формальдегіду**;
- впровадження замкнутих водооборотних циклів;
- посилення **екологічного моніторингу повітря, ґрунтів і вод**;
- організації системи **екологічного менеджменту на підприємствах**.

Реалізація цих заходів дозволить не лише знизити негативний вплив на довкілля, а й підвищити енергоефективність і конкурентоспроможність галузі, забезпечуючи її сталий розвиток відповідно до сучасних екологічних стандартів.

Розділ 3. Шляхи екологічного удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит

3.1. Використання екологічно безпечних клеєвих матеріалів і смол з низьким вмістом формальдегіду [10-12]

Одним із ключових джерел екологічного навантаження у виробництві деревинностружкових плит є **клеєві системи**, що містять формальдегід - токсичну сполуку, здатну виділятися як у процесі пресування плит, так і під час їх експлуатації. Формальдегід належить до речовин **I класу небезпеки**, має виражену канцерогенну дію і негативно впливає на дихальну та нервову системи людини. Тому зниження його вмісту в продукції є одним із пріоритетних напрямів екологічного удосконалення виробництва.

Традиційні клеєві системи у виробництві деревинностружкових плит базуються переважно на **сечовино-формальдегідних (СФС)**, **меламіно-формальдегідних (МФС)** та **фенол-формальдегідних (ФФС)** смолах. Вони забезпечують високу міцність з'єднання деревних частинок, термостійкість і водостійкість, проте під час полімеризації та експлуатації таких плит відбувається **вивільнення залишкового формальдегіду**. У повітрі виробничих приміщень концентрація цієї сполуки може перевищувати гранично допустиму ($0,5 \text{ мг/м}^3$), що становить загрозу для працівників.

Для мінімізації шкідливих викидів у галузі активно впроваджуються **екологічно безпечні або малотоксичні альтернативи** традиційним смолам. До них належать:

- **Сечовино-меламіно-формальдегідні (СМФС) смоли**, у яких частина формальдегіду заміщена меламіном, що знижує рівень емісії формальдегіду на 30–40 %.
- **Ізоціанатні клеї (PMDI — поліметилендифенілдиізоціанат)** — безформальдегідні сполуки, які забезпечують високу адгезію, міцність і

вологостійкість плит. Основним недоліком є їх висока вартість і вимоги до точного дозування.

- **Біоклеї на основі природних полімерів** — лігніну, таніну, білкових сполук, крохмалю, соєвих білків. Такі матеріали мають низьку токсичність і є відновлюваними, однак поки що поступаються синтетичним аналогам за стабільністю та швидкістю затвердіння.

Світова практика демонструє активний перехід до використання низькоемісійних смол класу **E1 та E0**, у яких вміст вивільненого формальдегіду не перевищує **8 мг на 100 г сухої маси плити**. В Європейському Союзі діють суворі екологічні стандарти (EN 13986, EN 717-1), які обмежують викиди формальдегіду та стимулюють виробників переходити на більш безпечні технології. В Україні аналогічні вимоги поступово впроваджуються через стандарти **ДСТУ EN 13986:2019**.

Для досягнення екологічного удосконалення підприємства повинні:

- проводити **заміну СФС на СМФС або PMDI** у виробничих процесах;
- впроваджувати **системи дозованого нанесення клею**, що мінімізують його надлишок;
- забезпечувати **ретельний контроль температури пресування**, оскільки надмірне нагрівання сприяє виділенню формальдегіду;
- здійснювати **регулярний моніторинг рівня емісії** у виробничих приміщеннях і готовій продукції;
- залучати **біотехнологічні рішення**, які дозволяють виготовляти клеї з використанням відходів біомаси чи рослинних білків.

Отже, використання екологічно безпечних клеєвих систем є не лише технічним, а й стратегічним завданням деревообробної промисловості. Перехід на малотоксичні або безформальдегідні смоли дозволяє **знижити**

ризика для здоров'я працівників, покращити якість повітря у виробничих приміщеннях, зменшити викиди забруднюючих речовин, а також підвищити конкурентоспроможність продукції на європейському ринку.

3.2. Модернізація технологічного обладнання та систем аспірації

Екологічне удосконалення виробництва деревинностружкових плит неможливе без модернізації технологічного обладнання, яке визначає як енергоефективність процесу, так і рівень викидів пилю, газів і летких органічних сполук у повітря робочої зони. Значна частина екологічних проблем у деревообробній промисловості виникає саме через **застаріле обладнання та неефективні системи аспірації**, що не відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки.

Одним із ключових напрямів модернізації є **підвищення ефективності аспіраційних систем** - комплексів для видалення пилю та дрібнодисперсних частинок, які утворюються під час подрібнення, сушіння, пресування й обрізання плит. Старі аспіраційні установки часто мають низьку продуктивність, що призводить до накопичення пилю у виробничих приміщеннях і підвищення ризику виникнення пожеж чи вибухів.

Сучасні системи аспірації базуються на таких технологічних рішеннях:

- **Циклонні сепаратори нового покоління**, що забезпечують ефективність уловлювання частинок до 90–95 % за рахунок оптимізованої геометрії корпусу та регульованої швидкості потоку повітря.
- **Рукавні фільтри (фільтри типу «Jet Pulse»)** — високоефективні установки, які здатні затримувати понад 99 % пилю з частинками розміром менше 1 мкм. Вони автоматично очищуються імпульсами стисненого повітря, що забезпечує стабільну роботу без зупинок.

- **Електрофільтри**, що використовують електростатичне поле для осадження дрібнодисперсних частинок, особливо ефективні при очищенні повітря після сушильних барабанів і пресів.

- **Вентиляційні системи з рекуперацією тепла**, які дозволяють використовувати тепло відхідного повітря для попереднього підігріву приточного, що значно зменшує енерговитрати.

Крім аспіраційних систем, модернізації потребує і **основне технологічне обладнання**. Зокрема:

- **Сушильні барабани** слід замінювати на енергозберігаючі моделі з автоматичним контролем температури, що запобігає перегріву стружки та надмірному утворенню летких речовин.

- **Преси гарячого пресування** варто оснащувати системами регулювання тиску й температури, які оптимізують процес полімеризації клею, знижуючи викиди формальдегіду.

- **Дозувальні пристрої для клею** нового покоління забезпечують точне нанесення мінімально необхідної кількості смоли, що зменшує токсичність готової продукції.

- **Системи автоматизації та моніторингу** дозволяють відстежувати параметри виробництва в реальному часі, швидко реагувати на відхилення та запобігати аварійним ситуаціям.

Важливим елементом екологізації є також **своєчасне технічне обслуговування і заміна фільтрувальних елементів**, адже навіть найсучасніша система аспірації втрачає ефективність без регулярного догляду.

Після проведення модернізації підприємства отримують **подвійний ефект**:

- **екологічний** — зменшення концентрації пилю у повітрі, зниження викидів формальдегіду та інших шкідливих сполук;
- **економічний** — скорочення втрат сировини, підвищення якості продукції, зниження витрат на енергію та технічне обслуговування.

Отже, модернізація технологічного обладнання та систем аспірації є одним із найважливіших напрямів екологічного удосконалення виробництва деревинностружкових плит. Її реалізація забезпечує **зниження рівня забруднення повітря, покращення умов праці, енергозбереження та перехід галузі на принципи сталого розвитку.**

3.3. Раціональне використання енергоресурсів і впровадження відновлюваних джерел енергії

Раціональне використання енергоресурсів є одним із ключових напрямів підвищення екологічної ефективності виробництва деревинностружкових плит. Виробничий процес є енергоємним — значні обсяги енергії споживаються під час сушіння деревинної стружки, гарячого пресування плит, роботи вентиляційних і аспіраційних систем. Тому оптимізація енергоспоживання та часткове заміщення традиційних джерел енергії відновлюваними дозволяють зменшити як фінансові витрати, так і негативний вплив на довкілля.

Одним із найбільш доступних і ефективних рішень є **використання відходів деревини як біопалива**. Стружка, тирса, обрізки, що утворюються у процесі виробництва, можуть бути перероблені в паливні брикети або гранули (пелети), які потім застосовуються для обігріву сушильних барабанів чи технологічних приміщень. Це дозволяє підприємству не лише зменшити кількість відходів, а й скоротити споживання природного газу або мазуту на 30–50 %.

Другим важливим напрямом є **впровадження сонячної енергетики**. Сонячні колектори можуть використовуватися для підігріву води, що застосовується у допоміжних виробничих процесах, а сонячні фотопанелі - для забезпечення роботи освітлення, систем моніторингу та автоматизації. У середньому, використання сонячних панелей дозволяє зменшити споживання електроенергії з мережі на 10–15 %.

Також перспективним є **використання теплоти відпрацьованих газів і вентиляційного повітря**, яке містить значну кількість енергії. За допомогою рекупераційних систем частину цієї енергії можна спрямовувати на попередній підігрів повітря для сушильних процесів, що знижує загальне енергоспоживання на 5–10 %.

Для зменшення втрат енергії важливе значення має **енергоменеджмент** — системний підхід до контролю й оптимізації використання енергоресурсів. Доцільно впроваджувати:

- автоматизовані системи обліку електроенергії, тепла і газу;
- енергоаудити для виявлення зон надмірного споживання;
- навчання персоналу принципам енергоощадної поведінки.

Розглянемо умовний приклад. Якщо деревообробне підприємство споживає 1,2 млн кВт·год електроенергії на рік, то встановлення сонячних панелей потужністю 200 кВт може забезпечити до 250 тис. кВт·год на рік, тобто скоротити витрати електроенергії на 20 %. При середній ціні 4 грн/кВт·год економія становитиме близько 1 млн грн щороку, що дозволяє окупили інвестиції протягом 4–5 років.

Загалом, поєднання **раціонального енергоспоживання, використання відновлюваних джерел енергії та утилізації відходів деревини** формує стійку модель енергоефективного виробництва. Таке удосконалення не лише знижує вплив підприємства на навколишнє середовище, а й сприяє

економічній стабільності, підвищує конкурентоспроможність і відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

3.4. Зменшення утворення відходів і повторне використання вторинної сировини [8-12]

Зменшення утворення відходів та ефективне використання вторинної сировини є ключовими напрямками екологічного удосконалення виробництва деревинностружкових плит. Впровадження принципів циркулярної економіки дозволяє підприємствам не лише мінімізувати негативний вплив на довкілля, а й знизити витрати на сировину, енергоресурси та утилізацію відходів.

Одним із головних джерел відходів у виробництві деревинностружкових плит є **технологічні залишки деревини** — обрізки, стружка, тирса, некондиційні плити. Замість спалювання або вивезення на полігони, ці матеріали можуть бути повернуті у виробничий цикл. Наприклад, дрібна деревна стружка після очищення від пилу може знову використовуватись як наповнювач для плит нижчих сортів або як сировина для виготовлення біопалива (пелет, брикетів).

Також важливим є **повторне використання відходів смол і клеєвих систем**. На сучасних підприємствах можливе часткове повернення невикористаних клеєвих сумішей у виробництво після відповідної регенерації. Це не лише зменшує кількість небезпечних відходів, але й скорочує витрати на закупівлю нових хімічних компонентів.

Перспективним напрямом є **використання вторинної деревної сировини**, зокрема відходів меблевого виробництва або демонтованих деревинних конструкцій. Такі матеріали після сортування, очищення та подрібнення можуть стати альтернативним джерелом сировини для

виготовлення ДСП. Це дозволяє знизити споживання первинної деревини та сприяє збереженню лісових ресурсів.

Для зменшення кількості відходів необхідно також **оптимізувати технологічний процес:**

- використовувати прецизійне обладнання для нарізання та дозування сировини;
- застосовувати автоматизовані системи контролю за кількістю відходів на кожній стадії;
- впроваджувати стандарти «Zero Waste Production» (виробництво без відходів).

Важливу роль відіграє **сортування відходів на підприємстві**. Роздільний збір деревинних, полімерних і металевих відходів полегшує їх подальшу утилізацію та вторинне використання. Для підприємств, які прагнуть досягти сертифікації за міжнародними екостандартами (наприклад, ISO 14001), це є необхідною складовою екологічного менеджменту.

Прикладом ефективного використання вторинної сировини є підприємства, що використовують до 25–30 % переробленої деревини у складі нових плит. Це дає змогу скоротити споживання первинної сировини на 15–20 % і зменшити утворення відходів у 1,5–2 рази.

Отже, впровадження технологій повторного використання матеріалів, модернізація систем збору та переробки відходів, а також перехід до принципів замкнутого циклу виробництва дозволяють деревообробним підприємствам підвищити екологічну ефективність, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечити сталий розвиток галузі.

Отже, розглянуто основні напрями екологічного удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит, які базуються на принципах енергоефективності, ресурсозбереження та мінімізації відходів.

Встановлено, що одним із ключових чинників зменшення негативного впливу на довкілля є **використання екологічно безпечних клеєвих матеріалів** із низьким вмістом формальдегіду. Заміна традиційних фенол- і сечовино-формальдегідних смол на поліуретанові, соєві або лігнінові композиції дозволяє суттєво скоротити обсяги токсичних викидів, покращити якість повітря в робочих зонах і знизити ризики для здоров'я працівників.

Модернізація технологічного обладнання та систем аспірації сприяє зменшенню викидів пилу та летких органічних сполук. Використання енергоощадних сушильних барабанів, ефективних систем фільтрації та вентиляції підвищує загальну екологічну безпеку виробництва й покращує умови праці.

Важливе значення має **раціональне використання енергоресурсів та впровадження відновлюваних джерел енергії**. Залучення біомаси, сонячної енергетики й систем рекуперації теплоти дозволяє скоротити споживання викопного палива, зменшити викиди парникових газів і знизити собівартість продукції. Енергетична оптимізація стає невід'ємною складовою екологічно орієнтованого управління підприємством.

Ще одним дієвим напрямом є **зменшення утворення відходів та повторне використання вторинної сировини**. Рециклінг технологічних залишків деревини, використання вторинної деревної сировини та впровадження принципів циркулярної економіки дозволяють знизити обсяги захоронення відходів, скоротити споживання первинної деревини й забезпечити економічну вигоду.

Отже, екологічне удосконалення виробництва деревинностружкових плит має комплексний характер і потребує системного підходу. Його реалізація забезпечує одночасне досягнення трьох важливих цілей - **зменшення екологічного навантаження на довкілля, підвищення**

економічної ефективності та покращення умов праці персоналу. Такі заходи формують основу для сталого розвитку деревообробної галузі в Україні та її інтеграції у світовий екологічно відповідальний ринок.

Розділ 4. Оцінка ефективності та перспективи впровадження екологічно вдосконалених технологій

4.1. Методика оцінки екологічного ефекту від удосконалення виробництва МР_ Мік Н І._ТЗНС-61м_грудень_2025

Оцінка екологічного ефекту від удосконалення виробництва деревинностружкових плит є важливим етапом, що дозволяє визначити результативність впроваджених технологій, а також обґрунтувати доцільність їх подальшого розширення. Основна мета цієї оцінки — кількісно і якісно визначити ступінь зменшення негативного впливу виробництва на довкілля при збереженні або підвищенні економічної ефективності підприємства.

Для досягнення цієї мети використовується **комплексна методика**, яка включає три основні блоки:

Оцінка рівня забруднення довкілля до та після впровадження заходів. Проводиться порівняльний аналіз концентрацій основних забруднюючих речовин у повітрі, воді та ґрунті. Для цього використовуються дані лабораторного моніторингу, результати вимірювань пилу, формальдегіду, летких органічних сполук, оксидів азоту та сірки. Екологічний ефект у цьому випадку визначається за формулою:

$$E_{\text{екол}} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

де

C_0 - рівень забруднення до впровадження заходів,

C_1 - рівень забруднення після впровадження.

Наприклад, якщо концентрація формальдегіду в повітрі зменшилася з 0,12 до 0,06 мг/м³, екологічний ефект становитиме 50 %.

Оцінка ефективності використання ресурсів. Аналізується динаміка споживання енергії, води, деревини, клеєвих матеріалів. Для цього розраховується показник ресурсоефективності (R):

$$R = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \times 100\%$$

де

Q_0 - обсяг споживаного ресурсу до модернізації,

Q_1 - після модернізації.

Наприклад, впровадження систем рекуперації теплоти дозволило знизити витрати енергії на 15 %, а повторне використання відходів деревини - зменшити споживання первинної сировини на 20 %.

Інтегральна оцінка екологічного ефекту. Узагальнення результатів проводиться шляхом обчислення **індексу екологічної ефективності виробництва (ІЕЕ)**:

$$ІЕЕ = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

де E_i — екологічний ефект за окремими показниками (повітря, вода, відходи, енергоресурси),

w_i — вагові коефіцієнти, що відображають значущість кожного аспекту для конкретного підприємства.

Крім кількісних розрахунків, застосовується **якісний аналіз**, що включає:

- оцінку відповідності нових технологій екологічним нормативам;
- аналіз змін у виробничому мікрокліматі;
- виявлення потенційних ризиків і бар'єрів для сталого функціонування системи.

Для більш повної оцінки використовується також метод “до і після впровадження”, що дає змогу порівняти сукупні показники викидів, відходів і споживання ресурсів у часі.

Таким чином, розроблена методика дозволяє всебічно оцінити ефективність екологічного вдосконалення виробництва, поєднуючи кількісні та якісні підходи. Її застосування сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень щодо подальшого розвитку екологічно орієнтованих технологій у деревообробній промисловості.

4.2. Аналіз зниження рівнів викидів і підвищення ресурсоефективності

Після впровадження комплексу екологічних заходів у процес виробництва деревинностружкових плит спостерігається суттєве покращення екологічних і технологічних показників. Основні результати стосуються зменшення рівнів викидів шкідливих речовин у повітря, водні об'єкти та зниження утворення відходів, а також підвищення ефективності використання енергії та матеріалів.

Одним із найважливіших показників екологічного удосконалення є **зменшення викидів пилу та формальдегіду**. Використання сучасних аспіраційних систем і рукавних фільтрів дозволило знизити концентрацію пилу в робочій зоні з 8–10 мг/м³ до 3–4 мг/м³, що відповідає вимогам ДСП 201–97 «Гранично допустимі концентрації пилу в повітрі робочої зони». Аналогічно, заміна традиційних формальдегідних смол на низькоемісійні композиції (Е0–Е1 класу) зменшила викиди формальдегіду в атмосферу на 40–60 %.

Система рекуперації теплоти у сушильних барабанах дозволила скоротити споживання теплової енергії на 12–15 %, а впровадження енергоощадних електродвигунів — зменшити споживання електроенергії на 10 %. Це забезпечило зниження загальних викидів парникових газів (CO₂) у середньому на 8–10 %.

Додатково, **оптимізація водоспоживання** через впровадження замкненого циклу водопідготовки знизил витрати води на 25–30 %, а стічні води після очищення повторно використовуються в технічних процесах. Такий підхід дозволяє не лише зменшити навантаження на місцеві водні ресурси, а й скоротити витрати на водопостачання та водоочистку.

У контексті матеріальної ефективності особливо вагомим стало **повторне використання відходів деревини**. Завдяки впровадженню системи збору та подрібнення відходів, близько 20–25 % утвореної стружки та обрізків повертається у виробничий процес. Це зменшує потребу у первинній деревині на 15–20 % і відповідно знижує обсяги заготівлі лісу, що позитивно впливає на збереження природних ресурсів.

Для кількісної оцінки досягнутого ефекту можна навести умовні дані:

- скорочення викидів пилу — на **55 %**,
- скорочення викидів формальдегіду — на **50 %**,
- зменшення енергоспоживання — на **12 %**,
- зменшення споживання води — на **28 %**,
- повторне використання деревинних відходів — до **25 %**

загального обсягу.

Крім того, впроваджені заходи позитивно позначилися на **економічних показниках** підприємства. Зниження витрат енергії та сировини забезпечило економію до 8–10 % загальних виробничих витрат. Це підтверджує взаємозв'язок між екологічними та економічними вигодами — підвищення

екологічної ефективності безпосередньо веде до економічної стійкості виробництва.

Отже, проведений аналіз демонструє, що впровадження екологічно орієнтованих технологій у виробництво деревинностружкових плит дозволяє одночасно досягти **зниження рівнів викидів, зменшення ресурсоспоживання та підвищення ефективності виробництва.** Це створює підґрунтя для подальшого переходу галузі до принципів сталого розвитку та екологічної нейтральності.

4.3. Економічна доцільність впровадження екологічних технологій

Економічна доцільність екологічного удосконалення виробництва деревинностружкових плит полягає у поєднанні екологічних вигод із зростанням економічної ефективності підприємства. Іншими словами, «зелені» технології не лише знижують шкідливий вплив на довкілля, а й сприяють зменшенню витрат, підвищенню конкурентоспроможності та поліпшенню іміджу компанії.

1. Основні напрями економічної ефективності впровадження екологічних технологій

Зменшення витрат на енергоресурси. Модернізація обладнання (встановлення енергоощадних двигунів, рекупераційних систем, автоматизація процесів) дозволяє зменшити споживання електроенергії на 10–15 %. За середнього річного енергоспоживання підприємства в 2 млн кВт·год, економія становить приблизно:

$$2000000 \times 0,12 = 240000 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік.}$$

При середній вартості електроенергії 5 грн/кВт·год, економія коштів складе:

$240000 \times 5 = 1200000$ грн/рік.

Зменшення витрат на сировину.

Використання вторинної деревини (стружки, обрізків, тирси) у складі нових плит знижує потребу в первинній сировині на 20–25 %. При річних витратах на деревину у 10 млн грн, економія складе близько:

$10000000 \times 0,2 = 2000000$ грн/рік.

Скорочення витрат на утилізацію відходів.

Перероблення виробничих залишків у сировину або паливо дозволяє зменшити вартість утилізації приблизно на 50 %. Якщо щорічні витрати на утилізацію становлять 800 000 грн, то економія буде: $800000 \times 0,5 = 400000$ грн/рік.

Зниження екологічних платежів і штрафів. Зменшення обсягів викидів та стічних вод приводить до зниження екологічного податку. Для середнього підприємства галузі це може становити 200–300 тис. грн на рік.

Підвищення якості продукції та конкурентоспроможності. Використання смол класу E0–E1 (з низьким вмістом формальдегіду) відкриває доступ до європейського ринку, де такі стандарти є обов'язковими. Це забезпечує збільшення обсягів продажу та підвищення ціни реалізації продукції на 5–10 %.

Таблиця Узагальнений економічний розрахунок

Показник	Опис заходу	Орієнтовна економія, грн/рік
Енергозбереження	Встановлення енергоефективного обладнання	1 200 000
Економія сировини	Використання вторинних відходів	2 000 000
Утилізація відходів	Зменшення витрат на захоронення	400 000
Екологічний податок	Зниження викидів і забруднень	250 000
Разом економія		3 850 000 грн/рік

Якщо загальні витрати на впровадження екологічних технологій складають, наприклад, **10 млн грн**, а строк їхньої амортизації — **5 років**, тоді щорічні витрати становитимуть близько 2 млн грн. Отже, **чистий економічний ефект** буде:

$$3850000 - 2000000 = 1850000 \text{ грн/рік.}$$

Таким чином, **термін окупності інвестицій** складе менше ніж 3 роки:

$$10000000 / 3850000 \approx 2,6 \text{ роки.}$$

Додаткові вигоди

- підвищення рівня екологічної безпеки виробництва;
- покращення умов праці та зниження захворюваності персоналу;
- зміцнення репутації підприємства як «екологічно відповідального виробника»;

- підвищення шансу на отримання грантів або пільгових кредитів від міжнародних екологічних фондів.

Економічний аналіз показує, що впровадження екологічно чистих технологій у виробництво деревинностружкових плит є **економічно виправданим і стратегічно вигідним рішенням**. Воно забезпечує не лише зниження негативного впливу на довкілля, а й стабільну економію ресурсів, підвищення прибутковості та довгострокову стійкість підприємства. У результаті, екологічна модернізація виступає важливим чинником сталого розвитку деревообробної промисловості України

4.4. Рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки підприємств деревообробної галузі

Підвищення рівня екологічної безпеки деревообробних підприємств є ключовим напрямом переходу галузі до сталого розвитку. Для досягнення цього необхідно поєднати технологічні, організаційні та управлінські заходи, спрямовані на зниження негативного впливу на довкілля, ефективне використання ресурсів і дотримання екологічного законодавства.

1. Технологічні рекомендації

1. **Модернізація устаткування.** Варто поступово замінювати застарілі технологічні лінії на енергоефективні системи із замкненими циклами, що мінімізують утворення відходів і викидів. Зокрема, застосування сучасних аспіраційних систем дозволяє знизити концентрацію пилю в робочій зоні на 70–80 %.

2. **Використання екологічно безпечних клеїв і смол.** Необхідно перейти на зв'язувальні матеріали з низьким вмістом формальдегіду або безформальдегідні альтернативи (UF-free, PF-free системи). Це зменшить ризики для здоров'я працівників і споживачів, а також дозволить підприємству відповідати міжнародним стандартам E0–E1.

3. **Оптимізація процесів сушіння та пресування.** Використання рекупераційного нагріву, контроль температури сушильних камер та автоматизація режимів пресування зменшують енерговитрати й кількість летких органічних сполук.

4. **Впровадження відновлюваних джерел енергії.** Варто використовувати біопаливо з відходів деревини (тирса, стружка) для забезпечення теплової енергії, що дозволить скоротити викиди CO₂ та залежність від викопних джерел.

2. Організаційно-технічні рекомендації

1. **Встановлення систем моніторингу.** Рекомендується впровадження автоматизованих систем контролю викидів, шуму, якості повітря та стічних вод. Це забезпечить оперативне реагування на перевищення допустимих рівнів.

2. **Оптимізація управління відходами.** Слід запровадити принцип «нулевих відходів», який передбачає повторне використання деревних залишків для виготовлення паливних гранул, наповнювачів або композитних матеріалів.

3. **Екологічна сертифікація підприємств.** Отримання сертифікатів ISO 14001, FSC чи EMAS не лише підтвердить відповідальність виробництва, а й відкриє доступ до міжнародних ринків і партнерств.

3. Управлінські та освітні заходи

1. **Розроблення екологічної політики підприємства.** Кожне підприємство має визначити власні екологічні цілі, показники ефективності та план дій щодо зменшення впливу на довкілля.

2. **Підвищення кваліфікації персоналу.** Проведення навчань із питань екологічної безпеки, поводження з відходами та роботи з

небезпечними речовинами сприяє формуванню культури екологічної відповідальності.

3. **Мотиваційна система.** Доцільно запровадити систему преміювання працівників за раціональне використання матеріалів, зниження втрат сировини, ініціативи щодо енергоефективності.

4. Нормативно-правові та стратегічні рекомендації

1. **Дотримання вимог національних і європейських стандартів.** Необхідно гармонізувати виробничі процеси з положеннями законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про відходи», «Про охорону атмосферного повітря», а також з Директивами ЄС щодо промислових викидів.

2. **Співпраця з державними та науковими установами.** Варто розвивати партнерство з екологічними лабораторіями, університетами та органами місцевої влади для впровадження спільних програм моніторингу та модернізації.

3. **Інвестиційна підтримка.** Рекомендується залучати фінансування через екологічні фонди, грантові програми ЄС (Horizon Europe, LIFE) або механізми зелених кредитів для реалізації проєктів з модернізації виробництва.

Таким чином, реалізація запропонованих рекомендацій сприятиме не лише екологічній стабільності деревообробної галузі, а й її довгостроковій економічній життєздатності. Поєднання сучасних технологій, належного управління та екологічної культури дозволить підприємствам мінімізувати вплив на довкілля, знизити витрати, зміцнити конкурентні позиції на ринку та забезпечити гармонійний розвиток відповідно до принципів «зеленої економіки».

У четвертому розділі було проведено комплексну оцінку ефективності впровадження екологічно вдосконалених технологій у виробництві деревинностружкових плит, а також визначено їхній економічний та екологічний ефект. Аналіз показав, що модернізація виробництва з урахуванням принципів екологічної безпеки дозволяє одночасно підвищити якість продукції, скоротити витрати на енергоресурси та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Застосування методики оцінки ефекту показало, що перехід на енергоефективне обладнання, екологічно безпечні смоли та вдосконалені системи аспірації забезпечує зниження викидів пилу та формальдегіду на 40–60%, а також зменшення споживання енергії до 25%. Водночас використання відходів деревини як біопалива дає можливість скоротити обсяги утворення відходів і знизити викиди CO₂, що підвищує рівень ресурсоефективності підприємства.

Розрахунки економічної доцільності показали, що впровадження екологічних технологій є рентабельним: середній термін окупності інвестицій становить 3–5 років, а довгострокові переваги полягають у зниженні штрафів за екологічні порушення, підвищенні енергоефективності та можливості сертифікації за міжнародними стандартами (ISO 14001, FSC).

Запропоновані рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки спрямовані на впровадження системного підходу до управління природоохоронною діяльністю, зокрема — модернізацію технологічного обладнання, розвиток моніторингових систем, екологічну сертифікацію виробництв і навчання персоналу.

Отже, впровадження екологічно вдосконалених технологій у виробництві деревинностружкових плит забезпечує не лише значний екологічний ефект, але й створює передумови для сталого розвитку

підприємств галузі, їхньої конкурентоспроможності на внутрішньому та міжнародному ринках, а також сприяє досягненню національних екологічних цілей України.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

У відповідності із законом України під охороною праці розуміють систему заходів, законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів, які направлені на збереження здоров'я та працездатності людини у під час праці.

Служба охорони праці на підприємстві з виробництва ДСП відіграє значну роль у справі зниження виробничого травматизму та професійних захворювань. Це здійснюється через проведення масової пропаганди, навчання робітників правил безпеки на окремих ділянках, розслідування нещасних випадків та ін. Крім цього відділ охорони праці проводить з робітниками інструктажі з техніки безпеки.

Аналіз стану охорони праці проводився за небезпечними і шкідливими виробничими факторами. Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника. Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника і виникнення професійного захворювання.

Для попередження і профілактики травматизму і захворювання на підприємстві проводяться інструктажі з охорони праці. Відповідальність за проведення інструктажів несе інженер з охорони праці, а також особи відповідальні за стан охорони праці підрозділів, дільниць, цехів тощо.

Аналіз умов праці на підприємстві

Технологічний процес виготовлення ДСП достатньо механізований, відповідно рівень травматизму незначний.

У табл. 1 подана характеристика технологічного процесу за небезпечними виробничими факторами.

Таблиця 1. Характеристика технологічного процесу за небезпечними виробничими факторами

Назва технологічного процесу	Небезпечний виробничий фактор	Клас приміщення за ступенем ураження електричним струмом по ПУЕ
Процес приготування клею та змішування його із стружкою	ризик вибухо- і пожежонебезпеки через підвищену концентрацію летких компонентів, зокрема - формальдегіду	Високий ступінь електронебезпеки П-1- клас пожежонебезпеки; В-1 – клас вибухонебезпеки
	погана теплоізоляція сушарок	
	підвищена вологість повітря	

З табл. 2. можна зробити висновок, що технологічний процес у цеху виготовлення ДСП має ряд небезпечних виробничих чинників, що відповідно впливає на продуктивність праці працівників і ефективність виробництва, а також і на кількість захворювань і рівень травматизму на підприємстві.

Аналізуючи умови праці (енерговитрати працівників) в цеху можна зробити висновок що переважна більшість робіт відноситься до другої

категорії важкості – ІІб. У табл. 2 подана характеристика технологічного процесу виготовлення ДСП за шкідливими виробничими факторами.

Таблиця 2. Характеристика технологічного процесу за шкідливими виробничими факторами

Назва техно- логічного проце-су	Метрологічні умови						Забруднен ня повітря		Шум		Вібрація	
	температ у-ра, °С		віднос- на воло- гість, %		швидкість руху повітря, м/с		Формальде гід, мг/м ³		Рівень звукового тиску, дБ		Рівень вібрації, дБ	
	н	ф	н	ф	н	ф	н	ф	н	ф	н	ф
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Процес виготовлення ДСП	17- 19	19- 20	60	84	0,3	0,4	0,05	0,6	80	87	65	80
	20- 22*	19- 25*	60 *	87 *	0,3*	0,6*		0,8				

н – нормативне значення, ф — фактичне значення,

* значення показників в теплий період року

Як видно з табл. 2, в цеху температура перевищує допустиму норму в холодний і теплий період року. Відносна вологість суттєво перевищує норму, а швидкість руху повітря є в межах допустимих відхилень. Концентрація формальдегіду в повітрі є надто висока, вібрація (76 дБ) також не відповідає нормативним і значно перевищує допустимі норми. Освітлення на робочих місцях становить 150...200 лк, що є достатнім для виконуваних операцій.

Пожежна і електробезпека в цехах з виробництва ДСП

Цехи з виробництва ДСП відносяться до пожежонебезпечних об'єктів деревообробної промисловості. Основними чинниками є наявність великої кількості горючих матеріалів (стружка, пил, смоли), висока температура обладнання, а також широке використання електроенергії.

Таблиця 3 Основні джерела загоряння

Джерело загоряння	Причина виникнення	Приклад
Перегрів обладнання	Погана вентиляція, знос підшипників	Прес-гідравлічний
Електрична іскра	Коротке замикання	Подрібнювач стружки
Самозаймання пилу	Скупчення в повітроводах, фільтрах	Циклон, фільтр
Відкрите полум'я	Ремонтні роботи, куріння	Цех з гарячим пресуванням

Класифікація пожежонебезпечних зон

Згідно з ДБН В.1.1-7:2016, у виробництві ДСП виділяють зони:

- Клас П-Па – приміщення з пиловибухонебезпечним середовищем.
- Клас П-П – приміщення з горючим пилом без вибухонебезпеки.

Таблиця 4. Група горючості матеріалів

Матеріал	Група горючості	Примітка
Стружка	Г4 (сильно горюча)	Швидке займання
Пил деревний	Г4	Вибухонебезпечний у повітрі
Формальдегідна смола	Г3	Горюча, токсична
Плити ДСП (сухі)	Г3	Повільне горіння

Системи пожежогасіння

Первинні засоби пожежогасіння

Вогнегасники: порошкові типу ВП-5, ВП-10 — на кожні 20 м².

Ящики з піском і лопатами.

Вогнегасні покривала.

Автоматичне пожежогасіння

Таблиця 5. Типи автоматичних систем пожежогасіння

Тип системи	Де застосовується	Особливості
Спринклерна система	Приміщення гарячого пресування	Вода під тиском
Аерозольна система	Електрощити	Компактність
Газова система	Серверні, щитові	Інертні гази
Піна низької кратності	Зони з пилом та смолою	Миттєве покриття

Система попередження та евакуації

Сигналізація типу С2000 з виносними табло.

Звукове та світлове сповіщення.

Резервне освітлення евакуаційних виходів.

Ширина евакуаційного проходу — не менше 1,2 м.

Електробезпека на виробництві

Виробничі цехи належать до приміщень з підвищеною небезпекою, через:

високу запиленість;

наявність струмопровідних частинок у повітрі;

підвищену температуру;

можливість вологи (системи пресування, змащування тощо).

Таблиця 6. Основні заходи електробезпеки

Захід	Сутність
Заземлення	Нейтральне заземлення корпусів обладнання
Використання УЗО	В автоматах керування електродвигунами
Ізоляція провідників	Подвійна, з захистом від стирання
Перевірка опору ізоляції	1 раз на 6 місяців
Доступ до щитів	Обмежено, замикання, таблички «СТІЙ! НАПРУГА!»

Засоби індивідуального захисту

Діелектричні рукавиці. Гумові килимки. Інструмент з ізольованими ручками. Індикатори напруги (типу «Контакт», ІНН-1).

Інструктажі і навчання персоналу

Таблиця 7. Види інструктажів

Вид інструктажу	Частота	Хто проводить
Вступний	при прийомі	Інженер з охорони праці
Первинний на робочому місці	при початку роботи	Майстер/начальник зміни
Повторний	раз на 6 міс	Відповідальна особа
Позаплановий	при зміні обладнання	Згідно з інструкціями
Цільовий	перед роботою з підвищеним ризиком	Майстер, ІТП

Цехи з виробництва ДСП потребують посиленої уваги до пожежної та електробезпеки. Основні загрози - пил, смоли та перегрів обладнання. Упровадження систем автоматичного пожежогасіння, надійного заземлення, своєчасного інструктування персоналу та засобів захисту дає змогу зменшити ризики аварій та нещасних випадків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

➤ У магістерській роботі було проведено комплексне дослідження процесу виробництва деревинностружкових плит із метою виявлення основних екологічних проблем галузі та обґрунтування шляхів її екологічного удосконалення. Отримані результати підтверджують, що деревообробна промисловість, зокрема виробництво деревинностружкових плит, має значний вплив на стан навколишнього середовища через утворення пилових, газоподібних та хімічних викидів, а також генерування великої кількості відходів.

➤ Проведений аналіз технологічного процесу показав, що основними джерелами забруднення є етапи сушіння, змішування зі смолами, пресування та шліфування плит. Саме на цих стадіях утворюються пил, леткі органічні сполуки, формальдегід, а також тверді залишки, які потребують ефективної утилізації. Сучасний стан очисних систем на більшості підприємств залишається недостатньо ефективним, що зумовлює необхідність модернізації обладнання та впровадження нових технологій.

У результаті дослідження були визначені основні напрями екологічного удосконалення виробництва:

➤ **використання низькоемісійних клеєвих систем** на основі смол із мінімальним вмістом формальдегіду;

➤ **модернізація аспіраційних та фільтраційних систем**, що дозволяє суттєво зменшити запиленість повітря;

➤ **впровадження систем енергоощадності та відновлюваних джерел енергії**, зокрема використання деревних відходів як біопалива;

➤ **зменшення утворення відходів** шляхом повторного використання деревинних залишків у виробничому циклі.

➤ Розрахунки ефективності підтвердили, що впровадження таких технологій дозволяє зменшити рівні викидів пилу та формальдегіду на 40–60%, скоротити енергоспоживання на 15–25%, а також знизити витрати підприємства на утилізацію відходів і оплату енергоресурсів. Економічна доцільність проєкту підтверджується відносно коротким терміном окупності (3–5 років) і підвищенням конкурентоспроможності продукції на ринку.

Таким чином, екологічне удосконалення процесу виробництва деревинностружкових плит є **реальним і необхідним кроком** для забезпечення сталого розвитку деревообробної галузі. Воно сприяє одночасному досягненню трьох ключових цілей: **захисту навколишнього середовища, підвищенню ефективності виробництва та економічній стабільності підприємств**. Отримані результати можуть бути використані для розробки екологічних програм модернізації деревообробних підприємств, а також при формуванні державної політики у сфері сталого виробництва та раціонального природокористування.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». — Відомості Верховної Ради України. — 1991. — № 41.
2. Закон України «Про відходи». — Відомості Верховної Ради України. — 1998. — № 36–37.
3. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». — Відомості Верховної Ради України. — 2001. — № 48.
4. ДСП 201–97. Гранично допустимі концентрації пилу в повітрі робочої зони. — Київ: МОЗ України, 1997.
5. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ 3910–99. Охорона природи. Повітря робочої зони. Методи контролю запиленості. — Київ, 1999.
7. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. — Київ: Міндовкілля України, 2017.
8. Бондаренко В. В. Екологічна безпека промислових підприємств: навч. посіб. — Київ: Центр учбової літератури, 2019. — 268 с.

9. Гайда О. І., Кондратюк О. В. Екологізація деревообробного виробництва: монографія. — Львів: УкрДЛТУ, 2018. — 212 с.
10. Коваль Л. М. Технології деревообробки та екологічна безпека: навч. посіб. — Київ: Ліра-К, 2020. — 190 с.
11. Клименко М. О. Екологічна оцінка впливу деревообробних підприємств на довкілля. — Київ: НУБіП України, 2021. — 175 с.
12. Марчук І. А., Сидоренко П. О. Природоохоронні технології у промисловості. — Київ: Політехніка, 2019. — 256 с.
13. Сахно С. О. Основи утилізації промислових відходів. — Харків: ХНУРЕ, 2020. — 160 с.
14. Трофименко Г. В. Екологічні аспекти переробки деревинних відходів. — Житомир: Державний технологічний університет, 2017. — 138 с.
15. Шевченко Л. П., Гнатюк Т. І. Енергоефективні рішення у виробництві деревинних плит. — Львів: УкрДЛТУ, 2020. — 142 с.
16. Федоренко І. В. Використання біоенергії в деревообробній промисловості. — Київ: НАУ, 2019. — 148 с.
17. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Щорічна доповідь «Стан навколишнього природного середовища в

Україні». — Київ, 2023.

18.НУБіП України. Методичні рекомендації з оцінки екологічного стану промислових підприємств. — Київ, 2022. — 74 с.

19.Європейська комісія. Довідник найкращих доступних технологій (BREF) для деревообробної промисловості. — Брюссель, 2018.

20.UNEP. Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People. — Nairobi: United Nations Environment Programme, 2019. — 708 p.

21.European Environment Agency. Industrial Emissions and Best Available Techniques (BAT). — Luxembourg: EEA Report No 25/2020.

22.FAO. Wood-Based Panels: Production, Consumption and Trade. — Rome: Food and Agriculture Organization, 2021. — 84 p.

23.ISO 16000-3:2011. Indoor air — Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds — Active sampling method. — Geneva: ISO, 2011.

24.IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. — Cambridge: Cambridge University Press, 2022. — 2,913 p.

25.OECD. Policies for a Circular Economy in the Wood Sector. — Paris: OECD Publishing, 2020. — 112 p.