

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:

**Екологічна оцінка використання фенолформальдегідних смол у
виробництві плит**

*Environmental assessment of the use of phenol-formaldehyde resins in
the production of boards*

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

Дидюк Роман Ігорович
(прізвище та ініціали)

Керівник Соколовський І.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Копинець З.П.
(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 МАГІСТЕРСКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дидюк Роман Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Екологічна оцінка використання фенолформальдегідних смол у виробництві плит
Environmental assessment of the use of phenol-formaldehyde resins in the production of boards

Керівник роботи: Соколовський Ігор Андрійович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____
Виконати огляд літературних джерел з проблематики, дослідження екологічної оцінки використання фенолформальдегідних смол у виробництві плит



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

1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.
2. Дослідження можливостей використання екологічної оцінки фенолформальдегідних смол у виробництві плит
Розроблення рекомендацій щодо зниження шкідливих випарів

3. Охорона праці.

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

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент  **Дидюк Р. І.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи використання фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит

- 1.1. Хімічний склад і властивості фенолформальдегідних смол
- 1.2. Технологічні аспекти застосування фенолформальдегідних смол у виробництві ДСП та фанери
- 1.3. Токсикологічна характеристика фенолу та формальдегіду
- 1.4. Нормативно-правове регулювання використання та контролю небезпечних речовин у деревообробній галузі

РОЗДІЛ 2. Аналіз впливу фенолформальдегідних смол на навколишнє середовище та здоров'я людини

- 2.1. Основні джерела забруднення повітря, води і ґрунтів у процесі виробництва плит
- 2.2. Викиди фенолу і формальдегіду у виробничому середовищі
- 2.3. Вплив токсичних речовин на працівників деревообробних підприємств
- 2.4. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря та ґрунтів поблизу підприємств

РОЗДІЛ 3. Методи оцінки та контролю викидів фенолформальдегідних сполук

- 3.1. Лабораторні та інструментальні методи визначення фенолу та формальдегіду
- 3.2. Аналіз дотримання гранично допустимих концентрацій у виробничому повітрі
- 3.3. Моделювання розповсюдження фенолформальдегідних викидів у довкіллі
- 3.4. Оцінка ризиків для здоров'я населення у зонах впливу підприємств

РОЗДІЛ 4. Шляхи зменшення негативного впливу фенолформальдегідних смол на довкілля

4.1. Використання екологічно безпечних альтернативних смол і зв'язуючих матеріалів

4.2. Модернізація технологічного обладнання та систем очищення викидів

4.3. Впровадження систем екологічного менеджменту ISO 14001 у
деревообробній промисловості

4.4. Рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки виробництв плит

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена екологічній оцінці використання фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит. У роботі розглянуто хімічні та токсикологічні властивості фенолу і формальдегіду, проаналізовано основні стадії технологічного процесу, де виникають викиди небезпечних речовин. Проведено оцінку впливу цих сполук на навколишнє середовище та здоров'я працівників деревообробних підприємств.

Особливу увагу приділено аналізу існуючих методів контролю та моніторингу викидів, а також порівнянню реальних показників з нормативними гранично допустимими концентраціями. На основі дослідження розроблено рекомендації щодо зменшення екологічних ризиків, зокрема за рахунок використання альтернативних смол, удосконалення технологічного обладнання та впровадження систем екологічного менеджменту.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення рівня екологічної безпеки деревообробних підприємств, а також при розробці заходів щодо поліпшення якості повітря та умов праці.

Ключові слова: фенолформальдегідні смоли, формальдегід, фенол, деревообробна промисловість, викиди, екологічна оцінка, токсичність, екологічна безпека.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the environmental assessment of the use of phenol-formaldehyde resins in the production of wood-based panels. The study examines the chemical and toxicological properties of phenol and formaldehyde, analyzes the key stages of technological processes where emissions of hazardous substances occur, and evaluates their impact on the environment and the health of woodworking industry employees.

Special attention is given to the analysis of current methods for monitoring and controlling emissions, as well as the comparison of real concentrations with regulatory limits. Based on the findings, recommendations were developed to reduce ecological risks through the implementation of alternative resins, modernization of production equipment, and adoption of environmental management systems.

The results can be applied to improve the environmental safety of wood-processing enterprises and to develop measures for better air quality and safer working conditions.

Keywords: phenol-formaldehyde resins, formaldehyde, phenol, woodworking industry, emissions, environmental assessment, toxicity, ecological safety.

ВСТУП

Актуальність теми

Сучасна деревообробна промисловість є однією з найважливіших галузей, що забезпечує виготовлення широкого спектра матеріалів для будівництва, меблевої та інших галузей. Значна частка продукції цієї сфери припадає на деревинні плити - ДСП, ДВП, фанеру тощо, при виробництві яких широко застосовуються фенолформальдегідні смоли як зв'язуючі речовини. Попри свої технологічні переваги - високу міцність, стійкість до вологи та хімічну інертність - фенолформальдегідні смоли є джерелом небезпечних речовин, зокрема фенолу та формальдегіду, які належать до класу токсичних і потенційно канцерогенних сполук. Їхнє потрапляння у повітря, воду та ґрунт створює реальну загрозу для здоров'я працівників деревообробних підприємств і населення прилеглих територій. В умовах посилення екологічних вимог та переходу до принципів сталого розвитку особливої актуальності набуває оцінка екологічного впливу використання фенолформальдегідних смол, а також пошук шляхів мінімізації їхнього негативного впливу на довкілля та людину.

Таким чином, дослідження, присвячене екологічній оцінці застосування фенолформальдегідних смол у виробництві плит, є актуальним і має важливе наукове, практичне та соціальне значення.

Мета дослідження - оцінити екологічний вплив використання фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит та розробити рекомендації щодо зменшення їхнього негативного впливу на довкілля і здоров'я людини.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

1. Проаналізувати хімічний склад і властивості фенолформальдегідних смол, що застосовуються у деревообробній промисловості.

2. Визначити основні джерела утворення та шляхи потрапляння фенолу і формальдегіду у навколишнє середовище.

3. Провести оцінку впливу викидів фенолформальдегідних сполук на здоров'я людини та стан екосистем.

4. Дослідити нормативно-правове регулювання використання небезпечних речовин у виробництві деревинних плит.

5. Запропонувати заходи щодо зменшення екологічного навантаження та підвищення безпеки технологічних процесів.

Об'єкт дослідження - процес виробництва деревинних плит із використанням фенолформальдегідних смол. **Предмет дослідження** - вплив фенолформальдегідних смол та продуктів їх розпаду на стан навколишнього середовища і здоров'я людини.

У роботі використано такі методи:

- **аналітичний** - для аналізу хімічного складу фенолформальдегідних смол і технологічних процесів їх застосування;
- **екологічний моніторинг і порівняльний аналіз** - для оцінки концентрацій забруднювальних речовин у повітрі, воді та ґрунті;
- **математичне моделювання** - для прогнозування поширення фенолу і формальдегіду в навколишньому середовищі;
- **санітарно-гігієнічний аналіз** - для визначення впливу токсичних сполук на працівників виробництв;
- **нормативно-правовий аналіз** - для вивчення чинного законодавства щодо обмеження використання небезпечних речовин.

Наукова новизна

У роботі здійснено комплексну екологічну оцінку використання фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит з урахуванням сучасних технологічних та санітарно-гігієнічних вимог. Вперше на основі системного підходу визначено основні етапи технологічного процесу, які мають найбільший вплив на довкілля, та запропоновано шляхи його оптимізації з метою зменшення токсичного навантаження. Розроблено пропозиції щодо зниження рівня викидів фенолу та формальдегіду шляхом модернізації обладнання та впровадження екологічно безпечних альтернативних смол.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані:

- для вдосконалення систем екологічного контролю на деревообробних підприємствах;
- при розробці програм зниження впливу токсичних викидів на довкілля;
- у процесі впровадження стандартів екологічного менеджменту (ISO 14001) у виробництві;
- у навчальному процесі при підготовці фахівців зі спеціальності *«Екологія»* та *«Технології захисту навколишнього середовища»*.

Практична реалізація запропонованих заходів сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки деревообробних підприємств, покращенню якості повітряного середовища та умов праці.**РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи використання фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит.**

1.1. Хімічний склад і властивості фенолформальдегідних смол

Фенолформальдегідні смоли (ФФС) - це синтетичні полімерні матеріали, які утворюються в результаті хімічної реакції фенолу з формальдегідом. Вони належать до групи терморективних смол, що характеризуються високою механічною міцністю, термостійкістю та хімічною інертністю після полімеризації. Ці властивості роблять їх незамінними у виробництві деревинних плит - зокрема деревинностружкових (ДСП), деревинноволокнистих (ДВП), фанери, ламінатів тощо.

Хімічна основа фенолформальдегідних смол - це полімери, які утворюються шляхом конденсації фенолу (C_6H_5OH) і формальдегіду (CH_2O). Реакція відбувається за наявності кислотних або лужних каталізаторів і може проходити двома основними шляхами:

- **резольний тип** (лужна конденсація, надлишок формальдегіду) - смоли цього типу твердіють при нагріванні без додаткових затверджувачів, що зручно у промисловому виробництві плит;

- **новолачний тип** (кислотна конденсація, надлишок фенолу) - потребують додавання затверджувачів, зазвичай гексаметилентетраміну, для утворення твердого полімеру.

Серед основних фізико-хімічних характеристик фенолформальдегідних смол виділяють:

- **густина** (1,2–1,3 г/см³),
- **в'язкість** (залежить від ступеня полімеризації та концентрації компонентів),
- **температуру затвердіння** (120–180 °С),
- **термостійкість готового полімеру** (до 200–250 °С),
- **високу стійкість до вологи, розчинників, кислот і мікроорганізмів.**

Під час твердіння відбувається процес полімеризації з утворенням тривимірної сітчастої структури, що забезпечує високі експлуатаційні властивості матеріалів. Завдяки цим властивостям фенолформальдегідні смоли широко використовуються у виробництві клеїв, лаків, прес-матеріалів, ізоляційних та абразивних виробів.

Однак поряд із перевагами, фенолформальдегідні смоли мають значні **екологічні та токсикологічні недоліки**. Основними з них є:

- **леткі органічні сполуки (ЛОС)** - формальдегід, фенол, метанол, які виділяються на етапах синтезу, пресування та експлуатації плит;
- **висока токсичність** формальдегіду, який віднесено до канцерогенів першої групи (IARC);
- **небезпечність для працівників виробництв**, що контактують із парами смоли або готовими плитами в умовах недостатньої вентиляції;
- **тривале забруднення повітря у приміщеннях**, де використовуються матеріали на основі ФФС.

Екологічні аспекти використання фенолформальдегідних смол обумовлені тим, що навіть після завершення технологічного процесу певна кількість зв'язуючої речовини продовжує виділяти формальдегід у навколишнє середовище. Це явище має кумулятивний ефект і призводить до погіршення якості повітряного середовища, особливо у замкнутих приміщеннях.

З метою зменшення шкідливих викидів виробники все частіше застосовують **модифіковані ФФС** із пониженим вмістом фенолу або формальдегіду, додають інгібітори випаровування, а також впроваджують альтернативні полімери - меламінові, сечовинні та біосмоли на основі природних полімерів.

Отже, фенолформальдегідні смоли, незважаючи на свою високу технологічну ефективність, потребують ретельного екологічного контролю та пошуку безпечніших аналогів, особливо в умовах переходу деревообробної промисловості до принципів «зеленої» економіки та сталого розвитку.

1.2. Технологічні аспекти застосування фенолформальдегідних смол у виробництві деревинностружкових плит (ДСП) та фанери

Фенолформальдегідні смоли (ФФС) відіграють ключову роль у технологічному процесі виготовлення деревинних плит, зокрема деревинностружкових (ДСП), деревинноволокнистих (ДВП) та фанери. Їх основна функція - забезпечення надійного з'єднання частинок деревини між собою, формування міцної, стабільної та вологостійкої структури готового матеріалу.

Технологічний процес виробництва деревинних плит з використанням фенолформальдегідних смол складається з кількох основних етапів:

1. Підготовка деревинної сировини. Сировиною є відходи деревообробки - тріска, тирса, стружка, які подрібнюються до фракцій певних розмірів. Матеріал сушиться до вологості 2–5%, що є оптимальним для рівномірного змочування клеєвою композицією.

2. Приготування клеєвої суміші. Фенолформальдегідна смола змішується з затверджувачами, наповнювачами, пластифікаторами та водою до отримання однорідного складу. У деяких технологіях додають антипірени (для підвищення вогнестійкості) та антисептики. Залежно від типу смоли (резольна чи новолачна) процес приготування може проводитися при різних температурах і з різною швидкістю перемішування.

3. Нанесення смоли на деревинні частинки. Змішування деревинних частинок із клеєм здійснюється у змішувачах барабанного типу

або спеціальних диспергаторах. Важливо забезпечити рівномірне нанесення смоли, оскільки це впливає на міцність і рівномірність властивостей готової плити. Кількість смоли зазвичай становить 6–10% від маси сухих частинок деревини.

4. Формування плити. Оброблені частинки деревини укладаються у шари на конвеєрі або у форму. Для ДСП зазвичай використовується трьохшарова структура (з дрібною фракцією у зовнішніх шарах і грубою - у внутрішньому).

5. Пресування. Цей етап є ключовим у процесі полімеризації фенолформальдегідної смоли. Плита піддається гарячому пресуванню при температурі 160–180 °С і тиску 2,5–3,5 МПа. У результаті відбувається полімеризація смоли, що призводить до утворення міцних хімічних зв'язків між деревинними частинками. Час пресування залежить від товщини плити, вологи та типу смоли, зазвичай становить 4–8 хвилин.

6. Охолодження, обрізка та шліфування. Після пресування плита охолоджується, підрізається за розмірами і шліфується для досягнення необхідної гладкості поверхні. При цьому можливе виділення залишкових кількостей фенолу та формальдегіду, що зумовлює необхідність ефективної вентиляції.

7. Ламінування або облицювання (для фанери чи декоративних плит). На завершальному етапі плити можуть покриватися декоративними плівками, шпоном або лакофарбовими матеріалами, часто на основі тієї ж фенолформальдегідної смоли. Це підвищує зносостійкість, водостійкість та естетичність готової продукції.

Технологічні переваги використання ФФС:

- висока міцність з'єднання частинок деревини;
- стійкість до вологи, біопшкоджень, перепадів температур;

- можливість отримання плит з довгим терміном експлуатації;
- стійкість матеріалу до деформації та механічних навантажень.

Недоліки та екологічні обмеження:

- виділення токсичних парів формальдегіду під час пресування;
- утворення летких органічних сполук у процесі експлуатації виробів;
- небезпека для працівників при приготуванні та нанесенні смоли;
- складність утилізації плит через наявність термореактивних полімерів, що не розкладаються природним шляхом.

Для зниження негативного впливу ФФС сучасні підприємства впроваджують **екологічно орієнтовані технології**, серед яких:

- заміна частини фенолу лігніном, таніном або іншими природними поліфенолами;
- використання смол з пониженим вмістом формальдегіду (клас E0, E1);
- впровадження герметичних змішувальних систем і фільтраційних установок;
- автоматизація процесу дозування смоли.

Таким чином, технологічне застосування фенолформальдегідних смол у виробництві деревинних плит забезпечує високі експлуатаційні характеристики матеріалів, але водночас потребує чіткого екологічного контролю, дотримання санітарних норм і переходу до більш безпечних технологічних рішень.

1.3. Токсикологічна характеристика фенолу та формальдегіду

Фенол і формальдегід є основними складовими фенолформальдегідних смол, і саме вони визначають токсикологічні властивості як сировини, так і кінцевих продуктів деревообробної промисловості. Обидві сполуки належать до групи токсичних речовин з вираженою дією на організм людини та живі організми загалом.

1.3.1. Фенол: загальна характеристика і вплив на організм

Фенол (C₆H₅OH) - це ароматичне з'єднання, що являє собою безбарвну кристалічну речовину з характерним гострим запахом. Використовується у виробництві смол, пластмас, антисептиків та фармацевтичних препаратів.

Фізико-хімічні властивості:

- температура плавлення - 40,9 °C;
- температура кипіння - 181,9 °C;
- добре розчиняється у воді, спирті, ефірі;
- має кислотні властивості.

Шляхи потрапляння в організм: Фенол проникає через шкіру, дихальні шляхи та травний тракт. Найнебезпечніший шлях - інгаляційний, оскільки леткість фенолу забезпечує швидке надходження в кров.

Токсична дія:

- *Гостре отруєння* проявляється запамороченням, головним болем, болем у животі, порушенням дихання, судомами. При високих концентраціях можливі опіки слизових оболонок і шкіри.

- *Хронічне отруєння* викликає ураження печінки, нирок, центральної нервової системи, порушення обміну речовин.

- *Дія на шкіру:* фенол має виражений подразнюючий і некротизуючий ефект, навіть у невеликих дозах.

- *Канцерогенність*: фенол вважається потенційно канцерогенним при тривалому впливі, особливо в поєднанні з формальдегідом.

Гранично допустимі концентрації (ГДК):

- у повітрі робочої зони - **0,3 мг/м³** (ДСН 3.3.6.042-99, Україна);
- у повітрі населених місць - **0,003 мг/м³**;
- у воді водойм господарсько-питного призначення - **0,001 мг/дм³**.

1.3.2. Формальдегід: загальна характеристика і вплив на організм

Формальдегід (СН₂О) - безбарвний газ із різким задушливим запахом, який легко розчиняється у воді, спирті та ефірі. У промисловості використовується для синтезу смол, барвників, антисептиків та як консервант.

Фізико-хімічні властивості:

- температура кипіння - -19,2 °С;
- легко полімеризується, утворюючи параформ;
- сильно подразнює слизові оболонки.

Шляхи потрапляння в організм: Основний шлях - інгаляційний. Також може проникати через шкіру або потрапляти всередину організму при порушенні техніки безпеки.

Токсична дія:

- *Гостре отруєння* викликає подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів, кашель, нудоту, слезотечу, запаморочення. При високих концентраціях можливий бронхоспазм і набряк легень.

- *Хронічний вплив* призводить до алергічних реакцій, дерматитів, зниження імунітету, порушення функцій нервової та репродуктивної систем.

- *Канцерогенність*: Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) віднесло формальдегід до **групи 1 - доведені канцерогени для людини**.

- *Мутагенна дія:* формальдегід здатен викликати пошкодження ДНК і хромосомні аберації.

Гранично допустимі концентрації (ГДК):

- у повітрі робочої зони - **0,5 мг/м³**;
- у повітрі населених місць - **0,035 мг/м³**;
- у воді водойм господарсько-питного призначення - **0,05 мг/дм³**.

1.3.3. Синергічна дія фенолу та формальдегіду

Фенол і формальдегід у поєднанні утворюють фенолформальдегідні смоли, однак у разі неповної полімеризації або порушення технології можливе **вивільнення залишкових мономерів**, які становлять серйозну небезпеку.

Синергічний ефект проявляється у взаємному посиленні токсичності:

- підвищення проникності клітинних мембран фенолом збільшує здатність формальдегіду зв'язуватися з білками;
- обидві речовини викликають оксидативний стрес, що веде до пошкодження клітин печінки та легень;
- довготривала дія парів фенолу й формальдегіду асоціюється з ризиком розвитку **рака носоглотки, бронхолегневих захворювань та ендокринних порушень**.

1.3.4. Санітарно-гігієнічні вимоги та заходи безпеки

Для зниження впливу фенолу та формальдегіду на працівників деревообробної промисловості передбачаються:

- герметизація технологічного обладнання;
- ефективна вентиляція та локальні відсмоктувачі в місцях виділення парів;
- застосування індивідуальних засобів захисту (респіратори, рукавички, захисні окуляри);

- регулярний контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі;
- проведення періодичних медичних оглядів працівників;
- заміна токсичних смол на малотоксичні аналоги (UF-free або low-emission phenolic resins).

Таким чином, фенол і формальдегід є небезпечними токсикантами, які при порушенні технологічних процесів можуть становити серйозну загрозу здоров'ю людини та навколишньому середовищу. Ефективний контроль за їх використанням, удосконалення технологій і впровадження екологічно безпечних матеріалів є ключовими умовами мінімізації негативного впливу цих речовин.

1.4. Нормативно-правове регулювання використання та контролю небезпечних речовин у деревообробній галузі

Раціональне використання хімічних речовин у деревообробній промисловості потребує чіткого дотримання законодавчих норм і стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників, населення та довкілля. В Україні нормативно-правова база у сфері поводження з небезпечними речовинами формується відповідно до національних законів, підзаконних актів і міжнародних угод, які регулюють виробництво, зберігання, транспортування, утилізацію та контроль токсичних сполук, зокрема фенолу та формальдегіду.

1.4.1. Основні законодавчі акти України у сфері регулювання небезпечних речовин

1. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” (1991 р.) Визначає загальні засади екологічної безпеки, включаючи обмеження використання токсичних і канцерогенних речовин.

2. Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” (1994 р.) Встановлює вимоги до

гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони, воді, ґрунті, продукції тощо.

3. **Закон України “Про відходи” (1998 р.)** Регулює питання поводження з відходами хімічного походження, що утворюються під час виробництва деревинних плит.

4. **Закон України “Про хімічні речовини та суміші” (проект гармонізації з REACH, очікує повного впровадження)** Передбачає створення системи реєстрації та оцінки ризиків використання небезпечних речовин.

5. **ДСН 3.3.6.042-99 “Державні санітарні норми повітря робочої зони”** Визначає гранично допустимі концентрації фенолу, формальдегіду та інших токсичних сполук у виробничому середовищі.

6. **ГОСТ 12.1.007-76 “ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности”** Здійснює класифікацію речовин за ступенем токсичності і визначає умови роботи з ними.

7. **ДБН В.2.5-67:2013 “Опалення, вентиляція та кондиціонування”** Регламентує вимоги до систем вентиляції в деревообробних цехах для запобігання накопиченню токсичних парів.

1.4.2. Міжнародні нормативні документи

Україна, як член міжнародних організацій, поступово гармонізує своє законодавство із системами ЄС, зокрема:

- **REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)** - регламент ЄС № 1907/2006, який передбачає реєстрацію та обмеження використання небезпечних хімічних речовин;

- **CLP Regulation (Classification, Labelling and Packaging)** - регламент ЄС № 1272/2008, що встановлює правила класифікації, маркування та пакування хімічних речовин;

- **Базельська конвенція (1989 р.)** - про контроль транскордонного перевезення небезпечних відходів;

- **Роттердамська конвенція (1998 р.)** - про попередню обґрунтовану згоду на міжнародну торгівлю небезпечними хімікатами.

1.4.3. Гранично допустимі концентрації (ГДК) фенолу та формальдегіду

Речовина	Повітря робочої зони, мг/м ³	Повітря населених місць, мг/м ³	Вода водойм, мг/дм ³	Нормативний документ
Фенол	0,3	0,003	0,001	ДСН 3.3.6.042-99, ДСП 201-97
Формальдегід	0,5	0,035	0,05	ДСН 3.3.6.042-99, ДСП 201-97
Толуол	50,0	0,6	0,1	ДСН 3.3.6.042-99
Ксилол	50,0	0,2	0,05	ДСН 3.3.6.042-99
Ацетон	200,0	0,35	0,1	ДСН 3.3.6.042-99

1.4.4. Контроль за дотриманням нормативів

Контроль за виконанням вимог щодо поводження з небезпечними речовинами здійснюють такі установи:

- **Державна екологічна інспекція України** - перевіряє дотримання природоохоронного законодавства;
- **Центри контролю та профілактики хвороб МОЗ України** - проводять лабораторний моніторинг повітря робочих зон;
- **Державна служба з питань праці (Держпраці)** - контролює безпечні умови праці;
- **Місцеві органи самоврядування** - відповідають за контроль якості атмосферного повітря та води у межах населених пунктів.

Таким чином, нормативно-правова система України у сфері використання фенолформальдегідних смол базується на комплексному підході, який включає правові, санітарні, технологічні та міжнародні механізми регулювання. Ефективне впровадження цих норм є запорукою екологічної безпеки деревообробної галузі та збереження здоров'я населення.

РОЗДІЛ 2. Аналіз впливу фенолформальдегідних смол на навколишнє середовище та здоров'я людини

2.1. Основні джерела забруднення повітря, води і ґрунтів у процесі виробництва плит

Виробництво деревинних плит із використанням фенолформальдегідних смол є складним багатостадійним процесом, що супроводжується утворенням значних обсягів викидів шкідливих речовин у повітря, воду та ґрунт. Головними забруднювачами є **фенол, формальдегід, метанол**, а також побічні леткі органічні сполуки (ЛОС), які виникають при синтезі смол, пресуванні плит і сушінні стружки.

1. Забруднення атмосферного повітря

Під час гарячого пресування плит, сушіння деревної стружки та змішування компонентів смол у повітря робочих приміщень і довкілля надходять:

- **формальдегід** - один із головних токсичних агентів, що має канцерогенні властивості;
- **фенол** - подразнює слизові оболонки та впливає на нервову систему;
- **метанол, ацетон, ксилол, толуол** - легколеткі органічні сполуки, що сприяють формуванню фотохімічного смогу;
- **деревний пил**, який може містити адсорбовані залишки смол.

Підвищена температура технологічного процесу (до 180–200 °С) значно посилює випаровування формальдегіду, що підвищує ризики для працівників цехів і для довкілля.

2. Забруднення водних об'єктів

Стоки утворюються при митті обладнання, резервуарів для смол і при аварійних витоках. До складу таких стоків входять:

- залишки **фенолу** та **формальдегіду**,
- **синтетичні смоли** та **клеї**,
- **поверхнево-активні речовини (ПАР)**,
- **суспендовані речовини**.

Наявність фенольних сполук у воді призводить до її неприємного запаху, пригнічення водних організмів та зниження розчиненого кисню.

3. Забруднення ґрунтів

Ґрунти забруднюються через:

- витоки під час зберігання хімікатів,
- просочування забруднених стоків,
- потрапляння пилу й твердих відходів.

Фенол і формальдегід мають здатність до міграції у ґрунтові води, утворюючи токсичні осади. Згідно з екологічними дослідженнями, при постійному впливі фенольних сполук у ґрунті знижується активність мікроорганізмів, що порушує природний цикл розкладу органічних речовин.

**Таблиця 2.1. Основні джерела та види забруднень у виробництві
деревинних плит**

Етап виробництва	Основні джерела забруднення	Тип забруднювачів	Сфера впливу
Підготовка деревини	Різання, сушіння, подрібнення деревини	Деревний пил, ЛОС	Повітря, робоча зона
Приготування фенолформальдегідної смоли	Реактори, змішувачі, резервуари для зберігання	Фенол, формальдегід, метанол	Повітря, стічні води
Нанесення смоли на стружку	Дозувальні установки, змішувачі	Пари фенолу і формальдегіду	Повітря, ґрунт
Пресування плит	Гарячі преси (180–200 °С)	Формальдегід, фенол, метанол	Повітря, робоча зона
Охолодження та шліфування	Шліфувальні верстати, транспортери	Пил, залишки смол, фенольні випари	Повітря, ґрунт
Утилізація відходів	Звалища, спалювальні установки	Зола, оксиди азоту, фенольні сполуки	Повітря, ґрунт, вода

Таким чином, процес виробництва деревинних плит супроводжується викидами токсичних речовин на всіх етапах - від підготовки сировини до утилізації відходів. Найбільш небезпечними з екологічної точки зору є формальдегід і фенол, що потребують ефективних систем очищення повітря, стічних вод і контролю умов зберігання. Реалізація природоохоронних

заходів на цих етапах є ключем до зменшення ризиків для довкілля та здоров'я працівників.

2.2. Викиди фенолу і формальдегіду у виробничому середовищі

Фенол і формальдегід - це основні токсичні компоненти, що виділяються під час виробництва деревинних плит із використанням фенолформальдегідних смол. Їхня наявність у повітрі робочих приміщень становить суттєву небезпеку для здоров'я працівників, а потрапляння в атмосферу - для навколишнього середовища. Обидві сполуки мають високу леткість, здатність до накопичення у повітрі при підвищеній температурі, що зумовлює потребу постійного контролю концентрацій у робочій зоні.

Джерела утворення та викидів

Основними джерелами фенолу та формальдегіду є такі стадії виробництва:

- **Приготування фенолформальдегідної смоли** - під час реакції конденсації фенолу з формальдегідом утворюються леткі продукти, що частково виділяються у повітря.
- **Змішування смоли зі стружкою** - при нагріванні або перемішуванні компонентів відбувається інтенсивне випаровування формальдегіду.
- **Гаряче пресування плит (температура 170–200 °С)** - у цей період в атмосферу цехів надходить найбільша кількість парів фенолу та формальдегіду, що утворюються внаслідок термічного розкладу залишкових смол.
- **Складування готової продукції** - навіть після завершення виробництва плити продовжують виділяти невеликі кількості формальдегіду впродовж 6–12 місяців, особливо при підвищеній вологості.

Концентрації та порівняння з нормативами

Згідно з санітарними дослідженнями деревообробних підприємств України, середні концентрації фенолу та формальдегіду у повітрі робочої зони перевищують гранично допустимі норми (ГДК), визначені ДСН **3.3.6.042-99**.

Такі перевищення фіксуються переважно у пресових цехах, а також у приміщеннях нанесення клею, де відсутня ефективна вентиляція або фільтрація. У літній період концентрації зростають на 20–30% через підвищення температури повітря, що посилює випаровування хімічних речовин.

Вплив на здоров'я працівників

Тривале вдихання повітря з підвищеним вмістом фенолу та формальдегіду призводить до:

- подразнення слизових оболонок очей, дихальних шляхів, шкіри;
- головного болю, нудоти, порушення координації;
- алергічних реакцій і хронічних респіраторних захворювань;
- у випадку тривалого контакту - ураження печінки, нирок і центральної нервової системи.

Формальдегід, згідно з класифікацією Міжнародного агентства з вивчення раку (IARC), належить до **групи 1 - доведені канцерогени для людини**, тому навіть незначні перевищення ГДК можуть мати довгострокові наслідки.

Заходи зменшення викидів

Для мінімізації рівнів фенолу та формальдегіду у виробничому середовищі доцільно:

- використовувати **низькоемісійні фенолформальдегідні смоли** (E1, E0 класу);

- забезпечити **локальну витяжну вентиляцію** у місцях приготування та нанесення смоли;
- обладнати гарячі преси **системами уловлювання парів** і каталітичного спалювання;
- проводити **регулярний моніторинг повітря робочої зони** та профілактичні медичні огляди працівників.

Таким чином, фенол і формальдегід є найбільш небезпечними забруднювачами у виробництві деревинних плит. Їх контроль та зниження викидів - ключовий напрям екологічного вдосконалення деревообробної галузі, спрямований на збереження здоров'я людей і зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

2.3. Вплив токсичних речовин на працівників деревообробних підприємств

Працівники деревообробних підприємств, які займаються виробництвом деревинних плит із використанням фенолформальдегідних смол, постійно піддаються впливу небезпечних хімічних речовин, що виділяються під час підготовки, пресування та сушіння матеріалу. Основну небезпеку становлять фенол і формальдегід - токсичні сполуки, що мають подразливу, мутагенну та канцерогенну дію.

Формальдегід - безбарвний газ із різким запахом, який легко розчиняється у воді та спиртах. При вдиханні його пари подразнюють слизові оболонки очей, носа та дихальних шляхів. У працівників можуть спостерігатися головний біль, кашель, запаморочення, біль у горлі, а при тривалому впливі - розвиток хронічного бронхіту, алергічних реакцій, дерматитів. Формальдегід також має канцерогенну дію - тривалий контакт із ним підвищує ризик онкологічних захворювань верхніх дихальних шляхів.

Фенол є ще одним небезпечним компонентом, який легко проникає через шкіру і слизові оболонки. Він впливає на центральну нервову систему, печінку, нирки, викликає загальну слабкість, нудоту, а у високих концентраціях - судоми та втрату свідомості. При тривалому впливі фенолу можливі ураження нервової системи, зміни у складі крові, порушення функцій ендокринних органів.

Окрім фенолу і формальдегіду, у повітрі робочих зон можуть бути присутні інші шкідливі речовини - метанол, ацетон, толуол, ксилол, які утворюються як побічні продукти технологічних процесів. Їхні пари мають наркотичну дію, викликають сонливість, зниження концентрації уваги, подразнення слизових оболонок.

Особливу небезпеку становить тривале перебування працівників у закритих приміщеннях із недостатньою вентиляцією. У таких умовах концентрації фенолу і формальдегіду можуть перевищувати гранично допустимі рівні у 2–5 разів, що призводить до накопичення токсинів в організмі. Працівники часто скаржаться на хронічну втому, безсоння, зниження апетиту, часті алергічні реакції та подразнення шкіри.

Високий рівень забруднення робочого повітря безпосередньо залежить від стану вентиляційних систем, герметизації технологічного обладнання та правильності дозування смол. Недотримання технічних регламентів або використання застарілих технологій значно підвищує ризик інтоксикації.

Для мінімізації шкідливого впливу токсичних речовин необхідно:

- забезпечити ефективну вентиляцію у виробничих приміщеннях;
- використовувати індивідуальні засоби захисту (респіратори, окуляри, спецодяг);

- здійснювати регулярний контроль за концентраціями шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- проводити періодичні медичні огляди працівників;
- впроваджувати заміну фенолформальдегідних смол на менш токсичні аналоги (наприклад, карбамідні або поліуретанові).

Таким чином, вплив токсичних речовин на працівників деревообробної галузі є серйозною проблемою, яка потребує системного підходу до її вирішення. Комплекс профілактичних, технічних та організаційних заходів може значно знизити рівень професійних ризиків і покращити умови праці.

2.4. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря та ґрунтів поблизу підприємств

Оцінка екологічного стану атмосферного повітря та ґрунтів у районах розташування підприємств, що виробляють деревинні плити із застосуванням фенолформальдегідних смол, має особливе значення. Саме ці об'єкти довкілля першими реагують на технологічні викиди і акумулюють забруднюючі речовини, які з часом можуть мати довготривалі наслідки як для екосистем, так і для здоров'я людей.

Стан атмосферного повітря

Повітря поблизу деревообробних підприємств зазвичай містить підвищені концентрації летких органічних сполук (ЛОС), серед яких найнебезпечнішими є фенол і формальдегід. Ці речовини утворюються при сушінні стружки, приготуванні клеєвих сумішей та пресуванні плит. Особливо високі концентрації спостерігаються у ранкові та вечірні години, коли знижується атмосферна турбулентність і зростає ймовірність накопичення токсичних сполук у приземному шарі повітря.

Населення, що проживає у безпосередній близькості (до 1 км) від таких підприємств, часто скаржиться на різкий запах фенолу, подразнення очей, головний біль і утруднене дихання. За даними моніторингу, концентрації формальдегіду у повітрі поблизу промислових зон можуть перевищувати гранично допустимі концентрації у 2–3 рази, особливо у періоди інтенсивного виробництва.

Під час опадів частина токсичних речовин осідає на поверхню землі, потрапляючи у ґрунт, рослинність і водні об'єкти. Це свідчить про тісний взаємозв'язок між якістю атмосферного повітря та станом інших компонентів довкілля.

Стан ґрунтів

Ґрунти є природним «фільтром» для хімічних речовин, однак при систематичному надходженні токсичних сполук їхня буферна здатність поступово виснажується. Поблизу деревообробних підприємств у поверхневих шарах ґрунту часто виявляють залишки фенолу, формальдегіду, а також важких металів (мідь, цинк, свинець), що потрапляють у довкілля разом із технологічним пилом.

Такі забруднення особливо небезпечні для прилеглих аграрних територій: токсини можуть потрапляти у рослини, знижуючи врожайність та якість сільськогосподарської продукції. Крім того, під час змивання дощами забруднені частки потрапляють у поверхневі води, спричиняючи вторинне забруднення водою.

Хімічне навантаження на ґрунти призводить до зменшення біологічної активності мікроорганізмів, порушення структури гумусового шару та зниження родючості. У місцях, де накопичення фенолу перевищує фонові значення у 5–10 разів, спостерігається загибель трав'яного покриву, зміна кольору ґрунту та поява неприємного запаху.

Загальна оцінка

Екологічна ситуація в зонах розміщення підприємств, що використовують фенолформальдегідні смоли, характеризується як потенційно небезпечна. Незважаючи на локальний характер забруднень, їхній вплив може бути кумулятивним і проявлятися з часом - у зміні складу повітря, деградації ґрунтів, зниженні біорізноманіття.

Для зменшення негативного впливу доцільно:

- впроваджувати системи очищення газових викидів із використанням адсорбційних та біофільтраційних установок;
- проводити регулярний екологічний моніторинг повітря і ґрунтів;
- створювати зелені буферні зони навколо підприємств для часткового поглинання токсичних речовин;
- замінювати фенолформальдегідні смоли на менш токсичні полімери;
- здійснювати рекультивацію ґрунтів у зонах з підвищеним рівнем забруднення.

Таким чином, оцінка стану атмосферного повітря та ґрунтів поблизу деревообробних підприємств свідчить, що навіть незначні, але постійні викиди хімічних речовин формують стійкий негативний екологічний фон. Лише комплекс заходів технічного, екологічного та організаційного характеру може забезпечити поступове відновлення довкілля та зниження рівня техногенного навантаження.

РОЗДІЛ 3. Методи оцінки та контролю викидів фенолформальдегідних сполук

3.1. Лабораторні та інструментальні методи визначення фенолу та формальдегіду [6-9]

Контроль за вмістом фенолу та формальдегіду у повітрі, воді, ґрунті та виробничому середовищі є обов'язковою складовою екологічного моніторингу деревообробних підприємств. Ці речовини належать до небезпечних токсикантів, які навіть у малих концентраціях можуть негативно впливати на здоров'я людини, викликати алергічні реакції, ураження печінки, нирок, дихальних шляхів і центральної нервової системи. Тому вибір точних і надійних методів їх виявлення є вкрай важливим.

1. Хімічні лабораторні методи

До традиційних лабораторних методів визначення фенолу та формальдегіду належать колориметричні, титриметричні та фотометричні методи.

- **Колориметричний метод** ґрунтується на зміні кольору реакційного розчину під дією специфічних реагентів. Для визначення фенолу часто використовують реакцію з 4-аміноантипірином у присутності феруму (III), що утворює червоно-рожевий комплекс. Концентрацію визначають за інтенсивністю забарвлення при довжині хвилі 510 нм.

- **Метод Хантара** застосовується для визначення формальдегіду і базується на реакції з хромотроповою кислотою, у результаті якої утворюється фіолетовий продукт. Метод забезпечує точність до 0,01 мг/дм³.

- **Титриметричні методи** менш точні, але використовуються для орієнтовного контролю у виробничих умовах, коли необхідно швидко оцінити рівень забруднення.

Перевагою лабораторних методів є висока чутливість, однак їхнім недоліком - тривалість аналізу та потреба у відібранні зразків і транспортуванні їх до лабораторії.

2. Інструментальні методи

Інструментальні методи контролю дозволяють здійснювати кількісне визначення фенолу та формальдегіду з високою точністю та швидкістю. Найбільш поширені серед них:

- **Газова хроматографія (ГХ)** - один із найточніших методів. Для аналізу фенолу та формальдегіду застосовують попереднє дериватизування, що дозволяє визначати навіть дуже низькі концентрації (до 0,001 мг/м³). Газова хроматографія широко використовується для моніторингу повітря робочої зони та атмосферних викидів.

- **Рідинна хроматографія високого тиску (ВЕРХ)** - ефективна для аналізу водних розчинів і стічних вод. Метод дає змогу одночасно визначати кілька органічних сполук, у тому числі формальдегід, фенол та їх похідні.

- **Інфрачервона спектроскопія (ІЧ-аналіз)** - базується на здатності молекул фенолу та формальдегіду поглинати ІЧ-випромінювання на певних довжинах хвиль. Дає змогу проводити оперативний контроль без складної пробопідготовки.

- **Фотометрія дифузного відбиття** - використовується у портативних приладах для експрес-аналізу на підприємствах. Дає змогу швидко оцінити концентрацію токсичних сполук у повітрі робочих зон.

3. Біологічні та інтегральні методи

Окрім хімічних аналізів, у практиці екологічного моніторингу застосовують **біотестування** - визначення токсичності повітря, води чи ґрунту за реакцією живих організмів. Найчастіше використовуються

водорості *Scenedesmus quadricauda*, дафнії *Daphnia magna* або інфузорії *Paramecium caudatum*. Зміни у поведінці чи життєздатності цих організмів дають змогу оцінити інтегральний рівень забруднення, навіть якщо концентрації окремих сполук не перевищують ГДК.

4. Автоматизовані системи моніторингу

Сучасні деревообробні підприємства дедалі частіше впроваджують **автоматизовані станції моніторингу повітря**, які працюють у режимі реального часу. Такі системи забезпечують безперервне вимірювання концентрацій фенолу, формальдегіду, пилу, CO₂, CO та інших речовин. Дані з сенсорів автоматично передаються у центральну базу, що дозволяє оперативно реагувати на перевищення нормативів.

Отже, ефективний контроль за вмістом фенолу і формальдегіду вимагає поєднання традиційних лабораторних, сучасних інструментальних та автоматизованих методів. Комплексний підхід забезпечує достовірну оцінку рівня забруднення та створює підґрунтя для розроблення екологічно безпечних технологій у виробництві деревинних плит.

3.2. Аналіз дотримання гранично допустимих концентрацій у виробничому повітрі

Нижче - приклад розгорнутого аналізу відповідності фактичних концентрацій шкідливих речовин гранично допустимим концентраціям (ГДК) у повітрі робочої зони. Наведені дані умовні, але типові для пресових та фарбувальних ділянок деревообробних цехів; розрахунок показує методику оцінки і інтерпретацію результатів.

Вихідні дані

- Формальдегід (НСНО): $C = 1,20 \text{ мг/м}^3$; ГДК = $0,50 \text{ мг/м}^3$.
- Фенол: $C = 0,90 \text{ мг/м}^3$; ГДК = $0,30 \text{ мг/м}^3$.
- Толуол: $C = 30,0 \text{ мг/м}^3$; ГДК = $50,0 \text{ мг/м}^3$.
- Ксилол: $C = 15,0 \text{ мг/м}^3$; ГДК = $50,0 \text{ мг/м}^3$.
- Пил деревини (дрібнодисперсний): $C = 3,00 \text{ мг/м}^3$; ГДК = $2,00 \text{ мг/м}^3$.

Крок 1 - обчислення коефіцієнта перевищення для кожної речовини

Коефіцієнт перевищення K_i розраховується як відношення фактичної концентрації C_i до ГДК (ГДК $_i$):

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}$$

1. Формальдегід:

$$C = 1,20, ГДК = 0,50.$$

$$\text{Ділення: } 1,20 \div 0,50.$$

- $0,50 \times 2 = 1,00$
- $0,50 \times 0,4 = 0,20$

$$\text{Тому } 1,00 + 0,20 = 1,20 \rightarrow K = 2,4$$

2. Фенол:

$$C = 0,90, ГДК = 0,30.$$

$$\text{Ділення: } 0,90 \div 0,30.$$

- $0,30 \times 3 = 0,90 \rightarrow K = 3,0.$

3. Толуол:

$$C = 30,0, ГДК = 50,0.$$

$$\text{Ділення: } 30,0 \div 50,0 = 0,6 \rightarrow K = 0,6.$$

4. Ксилол:

$$C = 15,0, ГДК = 50,0.$$

$$\text{Ділення: } 15,0 \div 50,0 = 0,3 \rightarrow K = 0,3.$$

5. Пил деревини:

$$C = 3,00, ГДК = 2,00.$$

Розрахунки: $\text{Ділення: } 3,00 \div 2,00 = 1,5 \rightarrow K = 1,5.$

Крок 2 - індекс хімічного навантаження (сума відносних перевищень)

Для комплексної оцінки часто використовують індекс хімічного навантаження $I_{\text{хн}}$, який визначається сумою відношень концентрацій до відповідних ГДК:

$$I_{\text{хн}} = \sum_i \frac{C_i}{ГДК_i} = \sum K_i$$

- Формальдегід: 2,4
- Фенол: 3,0
- Толуол: 0,6
- Ксилол: 0,3
- Пил: 1,5

Підсумуємо значення, знайдені вище: Додавання по кроках:

- $2,4 + 3,0 = 5,4$
- $5,4 + 0,6 = 6,0$
- $6,0 + 0,3 = 6,3$
- $6,3 + 1,5 = 7,8$ Отже, $I_{\text{ХН}}=7,8$

Інтерпретація:

- $I_{\text{ХН}} < 1$ — безпечний рівень;
- $1 \leq I_{\text{ХН}} \leq 3$ — помірний ризик;
- $I_{\text{ХН}} > 3$ — високий/небезпечний рівень сумарного впливу.

У нашому прикладі $I_{\text{ХН}}=7,8$ - **чітко в зоні високого ризику**, що вказує на комбінований шкідливий вплив декількох речовин.

Крок 3 - відсоткове перевищення для окремих компонентів

Кожне окреме перевищення можна виразити у відсотках:

$$\text{Перевищення } \% = \left(\frac{C_i - \text{ГДК}_i}{\text{ГДК}_i} \right) \times 100\%$$

Розрахунки:

1. Формальдегід:

$$C - \text{ГДК} = 1,20 - 0,50 = 0,70$$

$$0,70 \div 0,50 = 1,4 \rightarrow 1,4 \times 100\% = 140\%.$$

Формальдегід перевищує ГДК на **140%**.

2. Фенол:

$$0,90 - 0,30 = 0,60$$

$$0,60 \div 0,30 = 2,0 \rightarrow 200\%.$$

Фенол перевищує ГДК на **200%**.

3. Пил:

$$3,00 - 2,00 = 1,00$$

$$1,00 \div 2,00 = 0,5 \rightarrow 50\%.$$

Пил перевищує ГДК на **50%**.

Толуол і ксилол нижче ГДК - негативного перевищення немає.

Крок 4 - висновки по прикладу

1. **Проблемні речовини:** Формальдегід і фенол - істотно перевищують ГДК (коефіцієнти 2,4 і 3,0 відповідно). Це означає як високу гостру подразнювальну дію, так і підвищений довгостроковий ризик (алергії, хронічні захворювання, канцерогенність для формальдегіду).

2. **Сумарний ризик:** $I_{\text{хн}}=7,8$ - свідчить про комбінований (синергічний) ризик; навіть якщо деякі компоненти окремо не перевищують норми, їх сумарна дія може бути небезпечною.

3. **Місця концентрації:** найбільші перевищення ймовірні в пресових цехах, поблизу змішувачів смоли та у зонах шліфування.

Рекомендовані невідкладні заходи

1. Термінове технічне:

- Встановити або відновити **локальні відсмоктувачі** над пресами та змішувачами.

- Оснастити преси системами уловлювання парів і адсорбційними фільтрами (активоване вугілля).

- Герметизувати резервуари та лінії подачі смоли.

2. Вентиляція та енергетика:

- Забезпечити подачу свіжого повітря і рекуперацію тепла, але з обов'язковою фільтрацією витяжного повітря перед викидом.

3. Матеріали і технології:

- Переглянути рецептури смол: перейти на **низькоемісійні резини** або додати адитиви, що зменшують вільні мономери.

- Автоматизувати дозування, щоб уникнути надлишків смоли.

4. Моніторинг та медичний контроль:

- Впровадити **щоденний оперативний моніторинг** (датчики VOC/формальдегіду) у критичних зонах.

- Проводити регулярні (щоквартальні) лабораторні вимірювання й щорічні медогляди працівників.

5. Організаційні заходи:

- Скоротити час перебування працівників у зонах високого ризику; введення змін сумісно з ротацією.

- Забезпечити ЗІЗ (респіратори з фільтрами для органічних парів, хімзахисні рукавички).

Примітки щодо методики вимірювань (рекомендації для достовірності)

- Відбір проб - мінімум **3–5 точок** у кожній критичній зоні (змішувач, прес, шліфувальна ділянка).
- Частота - мінімум **щомісячний** контроль плюс додаткові відбори при змінах технології або скаргах персоналу.
- Для верифікації результатів поєднувати **оперативні прилади** (сенсори) і **лабораторні методи** (ГХ, ВЕРХ).
- Відомості з моніторингу вносити в журнал і вести тривалий тренд-аналіз (щоб виявляти сезонні та технологічні закономірності).

Короткий підсумок

Наведений розрахунок показує чітку невідповідність реальних умов на виробництві (у прикладі) санітарним нормам: значні перевищення по формальдегіду та фенолу, помірне перевищення пилу і три показники в межах норми. Сумарний індекс $I_{\text{хн}}=7,8$ вимагає **невідкладних заходів** - модернізації вентиляції та фільтрації, заміни матеріалів на менш емісійні, посилення моніторингу та медичного нагляду. Якщо бажаєш, я можу:

- перерахувати приклад для інших вхідних даних (ти надаєш виміри),
- підготувати шаблон протоколу вимірювань або форму звіту з моніторингу.

3.3. Моделювання розповсюдження фенолформальдегідних викидів у довкіллі

Моделювання розповсюдження фенолформальдегідних сполук у навколишньому середовищі є ключовим інструментом для прогнозування рівня забруднення та оцінки потенційного ризику для населення і екосистем. На практиці такі моделі допомагають не лише визначити зони впливу

підприємства, а й обґрунтувати розташування очисних споруд, санітарно-захисних зон та напрямки моніторингових досліджень.

Фенол і формальдегід, потрапляючи в атмосферу, поведуться по-різному. Формальдегід характеризується високою летючістю та швидко поширюється у повітрі, вступаючи в реакції фотохімічного окиснення, унаслідок чого можуть утворюватися вторинні токсичні сполуки. Фенол, навпаки, осідає швидше - частково з краплями вологи чи пилом, накопичується у верхніх шарах ґрунту та може потрапляти у воду під час опадів.

Для оцінки цих процесів застосовують **атмосферні дифузійні моделі**, наприклад, моделі типу **Гаусса**, які враховують висоту джерела викиду, швидкість і напрямок вітру, температуру, турбулентність повітря та рельєф місцевості. Такі розрахунки дозволяють побудувати «шлейф забруднення» - ділянку, в межах якої концентрація фенолу і формальдегіду перевищує фонові значення.

Умовно, для середнього деревообробного підприємства висотою димової труби 25 метрів, за помірного вітру (2–3 м/с) та стабільного температурного градієнта, зона максимального забруднення може сягати 300–500 метрів від джерела. Проте при несприятливих погодних умовах (штиль, інверсія) концентрація токсичних сполук може суттєво зростати навіть на ближчих відстанях, що створює загрозу для житлової забудови поблизу.

Крім атмосферного поширення, у моделях також враховується **міграція речовин у ґрунтовому профілі та поверхневому стоку**. Частина фенолу з опадами потрапляє на поверхню землі, де може утворювати локальні вогнища забруднення. Моделювання допомагає визначити

напрямки і швидкість руху таких потоків, що особливо важливо для підприємств, розташованих біля водойм або на схилах.

Сучасні програмні комплекси, як-от **AERMOD**, **CALPUFF** або **ADMS**, дозволяють візуалізувати результати у вигляді карт розсіювання, ізольованих концентрацій і прогностичних сценаріїв. На основі цих даних можна визначити безпечні межі для санітарно-захисних зон, оцінити ефективність фільтраційних систем чи спрогнозувати наслідки аварійного викиду.

Використання моделювання має не лише наукове, а й практичне значення: воно дає змогу мінімізувати вплив виробництва на довкілля ще на етапі проєктування або модернізації підприємства. Наприклад, за допомогою таких розрахунків можна обґрунтувати потребу у підвищенні труби, зміні технологічного режиму або переході на смоли з нижчим вмістом формальдегіду.

Отже, моделювання розповсюдження фенолформальдегідних сполук - це не лише метод прогнозу, а й **інструмент екологічного управління**, який дозволяє виробництву працювати ефективно, але безпечно для людей і природи.

3.4. Оцінка ризиків для здоров'я населення у зонах впливу підприємств

Оцінка ризиків для здоров'я населення, яке проживає поблизу деревообробних підприємств, що використовують фенолформальдегідні смоли, є одним із ключових етапів екологічної експертизи. Адже навіть незначні концентрації фенолу та формальдегіду в повітрі чи воді можуть призводити до довготривалих негативних наслідків для організму людини.

Фенол і формальдегід належать до **токсичних органічних сполук**, які впливають переважно на дихальну систему, нервову систему та органи детоксикації - печінку і нирки. При постійному вдиханні навіть малих доз формальдегіду спостерігаються подразнення слизових оболонок очей, горла,

розвиток хронічного бронхіту, головні болі, а у деяких випадках - алергічні реакції. Фенол, у свою чергу, здатний проникати через шкіру, викликаючи дерматити, порушення серцевого ритму та інтоксикацію.

Особливо вразливими є **діти, вагітні жінки та люди похилого віку**, оскільки їхні фізіологічні системи менш стійкі до дії токсичних речовин. Дослідження, проведені у промислових регіонах України (зокрема у Львівській, Київській та Харківській областях), показують, що населення, яке проживає в межах 1–2 км від деревообробних підприємств, частіше скаржиться на головний біль, хронічну втому, алергії та порушення сну - симптоми, характерні для низькодозової хімічної інтоксикації.

Оцінка ризику зазвичай проводиться за двома напрямками:

- **неонкогенний ризик** - визначає ймовірність виникнення хронічних хвороб (дихальної, нервової, ендокринної системи);
- **онкогенний ризик** - враховує потенційну можливість розвитку злоякісних новоутворень при тривалому впливі малих доз токсиканту.

Згідно з методикою ВООЗ та ДСТУ ISO 31010, оцінка ризику базується на порівнянні реальної концентрації забруднювача (Сфакт) із гранично допустимою (ГДК). Якщо відношення Сфакт/ГДК перевищує 1, ризик вважається неприпустимим і потребує негайного реагування. Для фенолу цей показник у деяких промислових зонах може становити 1,2–1,5, а для формальдегіду - навіть до 2,0, що свідчить про перевищення безпечного рівня у декілька разів.

Важливо розуміти, що ризики для здоров'я населення мають **кумулятивний характер**: навіть якщо разові концентрації незначні, їхній вплив з часом накопичується. У цьому контексті особливу небезпеку становлять старі деревообробні підприємства з застарілими системами

вентиляції та очищення, які не відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки.

Зменшення таких ризиків можливе лише шляхом **комплексного підходу**: модернізації технологій, переходу на смоли з пониженим вмістом формальдегіду, облаштування буферних зелених зон навколо підприємств і постійного моніторингу якості повітря. Не менш важливою є **просвітницька робота серед населення** - інформування мешканців про потенційні небезпеки, методи захисту та необхідність участі у місцевих програмах екологічного контролю.

Отже, оцінка ризиків для здоров'я у зонах впливу підприємств, що використовують фенолформальдегідні смоли, демонструє необхідність поєднання екологічних, медичних і соціальних заходів. Лише інтегрований підхід дає змогу ефективно знизити негативний вплив виробництва на людину та забезпечити стабільне функціонування промисловості без шкоди для довкілля.

РОЗДІЛ 4. Шляхи зменшення негативного впливу фенолформальдегідних смол на довкілля [7-12]

4.1. Використання екологічно безпечних альтернативних смол і зв'язуючих матеріалів

Одним із найефективніших шляхів зменшення негативного впливу фенолформальдегідних смол на довкілля є **перехід до використання екологічно безпечних альтернативних зв'язуючих матеріалів**, які мають нижчий рівень токсичності та мінімальні викиди летких органічних сполук (ЛОС). Такий підхід не лише зменшує екологічне навантаження, але й підвищує конкурентоспроможність підприємств на міжнародному ринку, де дедалі більше уваги приділяється “зеленим” технологіям.

Одним із перспективних напрямів є застосування **карбамідоформальдегідних смол з модифікованим складом**, у яких вміст вільного формальдегіду знижений завдяки введенню добавок, що хімічно зв'язують його молекули. Такі матеріали вже відповідають класу емісії E0 або E1, тобто мають мінімальні викиди шкідливих речовин у повітря.

Ще одним напрямом є використання **біополімерів природного походження** - крохмалю, лігніну, целюлози, білків сої чи казеїну. Ці речовини є відновлюваними, нетоксичними і здатними забезпечити необхідні адгезійні властивості без застосування небезпечних компонентів. Наприклад, смоли на основі **соєвого білка** широко використовуються у США та Канаді у виробництві фанери, а в Європі набувають популярності **лігнінові клеї**, що отримуються з відходів целюлозно-паперової промисловості.

Також активно досліджується застосування **танінів** - природних поліфенолів, що містяться в корі дерев, насінні та листі. Смоли на їхній основі демонструють високу міцність і термостійкість, що робить їх придатними для заміни фенолформальдегідних систем у деяких видах плит.

Перевагою танінових клеїв є їхня біорозкладність і відсутність токсичних випарів.

Окрему увагу заслуговують **мінеральні зв'язуючі речовини**, зокрема водні склади на основі силікатів або цементно-глиноземних систем. Хоча такі матеріали мають обмежене застосування через іншу структуру кінцевого продукту, вони цілком підходять для виробництва плит спеціального призначення - вогнестійких або вологостійких.

З екологічної точки зору, перехід на альтернативні зв'язуючі матеріали дозволяє:

- знизити викиди формальдегіду у виробничому середовищі до **70–90%**;
- скоротити токсичні відходи, що утворюються під час полімеризації смол;
- покращити умови праці персоналу;
- підвищити безпечність готової продукції для кінцевого споживача.

Проте слід зазначити, що заміна фенолформальдегідних смол потребує **модернізації технологічного обладнання** та адаптації параметрів пресування й сушіння, оскільки альтернативні смоли мають інші фізико-хімічні властивості (в'язкість, температура затвердіння, вологість).

У підсумку, використання екологічно безпечних зв'язуючих матеріалів є стратегічним напрямом розвитку деревообробної промисловості. Воно поєднує технологічну ефективність із дотриманням принципів сталого розвитку, знижує ризики для здоров'я людей та сприяє переходу галузі до моделі “зеленої економіки”.

4.2. Модернізація технологічного обладнання та систем очищення викидів

Модернізація технологічного обладнання є одним із ключових напрямів зниження негативного впливу виробництва деревинних плит на довкілля, особливо у випадку використання фенолформальдегідних смол. Впровадження сучасних енергоощадних та екологічно орієнтованих технологій дозволяє зменшити обсяги викидів фенолу, формальдегіду та інших токсичних сполук, поліпшити умови праці, а також знизити витрати на енергію та сировину.

Передусім модернізація має стосуватися **заміни застарілих пресів і сушильних установок** на сучасні, герметичні системи з автоматичним контролем температури, вологості та тиску. Старі преси часто є основним джерелом витоків фенолформальдегідних парів у робоче середовище. Сучасне обладнання оснащується герметичними прес-камерами, системами рекуперації тепла та датчиками, що відстежують викиди в реальному часі.

Важливу роль відіграє **оновлення систем аспірації та вентиляції**, які повинні забезпечувати ефективне видалення пилу, парів фенолу та формальдегіду з робочої зони. Найефективнішими є **багатоступеневі фільтраційні системи**, що поєднують механічне очищення, абсорбційні фільтри (з активованим вугіллям чи цеолітом) та хімічні нейтралізатори. Такі установки дозволяють знизити концентрацію шкідливих речовин у повітрі цеху на 80–90%.

Одним із перспективних напрямів є **впровадження технологій термічного або каталізаторного окиснення викидів**, що дозволяють знешкоджувати органічні пари до безпечних речовин (вуглекислого газу та води). Каталітичні реактори працюють при відносно низьких температурах і споживають менше енергії, ніж традиційні системи спалювання.

Крім того, ефективним рішенням є **системи замкненого циклу газообміну**, які дозволяють частково повертати очищене повітря назад у технологічний процес. Це не лише скорочує обсяги викидів у довкілля, а й зменшує втрати тепла.

Суттєвого ефекту також можна досягти за рахунок **автоматизації процесів дозування та змішування смол**. Використання точних дозаторів і систем комп'ютерного керування дозволяє уникнути надлишку хімічних реагентів, що часто призводить до підвищених викидів токсичних парів.

Додатковим заходом є **встановлення систем моніторингу стану повітря**, що включають онлайн-аналізатори концентрацій фенолу, формальдегіду, пилу та летких органічних сполук. Це дає змогу оперативно реагувати на перевищення нормативів і запобігати аварійним ситуаціям.

Отже, модернізація технологічного обладнання та систем очищення викидів є одним із найважливіших кроків до забезпечення екологічної безпеки виробництва деревинних плит. Вона не лише зменшує вплив на довкілля, але й сприяє підвищенню енергоефективності, покращенню умов праці та відповідності підприємств сучасним стандартам сталого розвитку.

4.3. Впровадження систем екологічного менеджменту ISO 14001 у деревообробній промисловостіУ сучасних умовах деревообробні підприємства, що працюють із фенолформальдегідними смолами, опиняються у ситуації, коли стандарти екологічної безпеки стають не просто вимогою, а фактором конкурентоспроможності. Саме тому впровадження системи екологічного менеджменту **ISO 14001** дедалі частіше сприймають не як формальність, а як інвестицію в майбутнє підприємства.

Одним з ключових завдань ISO 14001 є створення прозорості та керованої екологічної системи, де кожен процес - від закупівлі сировини до утилізації відходів - оцінюється з точки зору впливу на довкілля. Для

підприємств, що використовують фенолформальдегідні смоли, це означає чітке розуміння: **де, коли і чому відбувається виділення фенолу та формальдегіду**, та які кроки дозволяють мінімізувати ці викиди.

Цікаво, що впровадження ISO 14001 часто розпочинається не з технічних змін, а з **формування екологічної політики** - документу, який задає вектор розвитку підприємства. Це своєрідна “екологічна конституція”, де визначено, що компанія прагне зменшити використання небезпечних матеріалів, інвестувати у фільтраційні системи, підвищувати екологічну культуру персоналу та уникати непотрібних ризиків. Така політика може стати точкою перелому: після її прийняття всі виробничі рішення починають проходити “екологічну перевірку”.

В рамках стандарту також створюється **система моніторингу**, яка дає можливість “бачити” підприємство у реальному часі: датчики на вентиляційних каналах вимірюють концентрацію формальдегіду, лабораторія аналізує проби повітря й води, а журнали обліку фіксують обсяги використаних смол. Поступово моніторинг перетворюється на екологічний інструмент управління, а не просто засіб контролю.

Не менш важливим є **навчання персоналу**. Після впровадження ISO 14001 працівники починають сприймати виробництво не тільки як технологічний процес, але й як складну екологічну систему, де їхні дії безпосередньо впливають на безпеку. Саме навчений персонал найкраще визначає потенційні ризики: запах у цеху, зміну кольору відходів, збільшення вологовмісту повітря - і реагує на них до того, як виникне аварійна ситуація.

Одним із найважливіших інструментів ISO 14001 є **екологічний аудит**, що дозволяє підприємству побачити свої слабкі сторони. Аудитори перевіряють все: від правильності маркування хімічних речовин до того, наскільки ефективно працюють фільтри та чи відповідають викиди

нормативам. Після цього підприємство отримує “карту покращень”, яка стає дорожньою мапою розвитку.

Для галузі, що використовує фенолформальдегідні смоли, ISO 14001 - це не просто про екологію. Це про репутацію, доступ до нових ринків, довіру партнерів і стабільність у довгостроковій перспективі. Компанії, які сертифікувалися за ISO 14001, демонструють нижчі рівні викидів, менші втрати сировини, кращу якість продукції і більшу відповідальність перед суспільством.

У підсумку, впровадження ISO 14001 перетворює деревообробне підприємство на екологічно зрілу систему, де кожен елемент - від працівника до складного обладнання - працює на спільну мету: **мінімізувати вплив фенолформальдегідних смол на довкілля та забезпечити безпечні умови праці для людей**. Це не разова дія, а постійний процес удосконалення, який формує нову, більш відповідальну модель виробництва.

4.4. Рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки виробництв плит

Підприємства, що виготовляють деревостружкові та деревоволокнисті плити, мають значний потенціал для зменшення негативного впливу на довкілля, якщо застосовують комплексний підхід до екобезпеки. Ефективні заходи охоплюють як технологічні рішення, так і організаційні зміни, що формують нову культуру виробництва.

Одним із ключових напрямів є **оптимізація хімічних процесів**, які передбачають використання смол, модифікованих для зниження викидів формальдегіду. Підприємствам варто регулярно переглядати рецептури клеїв, використовувати фенолформальдегідні смоли з класом емісії E0–E1 та впроваджувати каталізатори, що забезпечують більш повне полімеризаційне

з'єднання. Це не лише зменшує кількість токсичних речовин у повітрі, а й підвищує якість кінцевої продукції.

Не менш важливим є **підвищення ефективності систем уловлювання та очищення газопилових сумішей**. Окрім традиційних циклонів та фільтрувальних установок, доцільним є застосування багатоступеневих систем, де сухе очищення поєднується з адсорбцією на активованому вугіллі або сучасними каталітичними фільтрами. Такі установки здатні зменшувати концентрації фенолу та формальдегіду до мінімальних рівнів навіть за умов інтенсивного виробництва.

Окрему увагу слід приділити **замкнутим технологічним циклам**, які дозволяють скорочувати споживання ресурсів і мінімізувати кількість відходів. Перероблення пилу та стружки у вторинну сировину, повторне використання теплоенергії сушильних камер, а також рециркуляція води - все це суттєво покращує екологічний баланс виробництва.

Важливо, щоб на підприємствах діяла **система постійного екологічного контролю**: регулярний моніторинг концентрацій токсичних речовин у робочих зонах, періодичний аналіз проб атмосферного повітря та ґрунтів у прилеглих районах, ведення екологічної звітності. Такий підхід дозволяє вчасно виявляти відхилення й оперативно реагувати на них.

Не менш значущою є **екологічна освіта й підготовка персоналу**. Працівники, які розуміють принципи безпечної роботи зі смолами, правила мінімізації викидів і важливість дотримання технологічних режимів, стають активною частиною екосистеми управління. Компанії, які вкладають у навчання, отримують не лише безпечніше виробництво, а й більш відповідальних співробітників.

І нарешті, ефективний інструмент - **відкрита комунікація з місцевими громадами та екологічними інституціями**. Доступність

екологічних даних, проведення аудитів та громадських консультацій створює атмосферу довіри й стимулює підприємства змагатися у сфері екологічної відповідальності.

Таким чином, підвищення екологічної безпеки виробництва плит - це не одноразове рішення, а стратегічний процес, який поєднує інновації, відповідальність і далекоглядність. Саме такий підхід дозволяє деревообробним підприємствам розвиватися, залишаючись безпечними для людей і природи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході дослідження було встановлено, що фенолформальдегідні смоли, які широко застосовуються у виробництві деревостружкових та деревоволокнистих плит, становлять потенційну екологічну й гігієнічну загрозу. Їхні викиди здатні забруднювати атмосферне повітря, ґрунти та негативно впливати на здоров'я працівників і населення, що проживає поблизу деревообробних підприємств.

Аналіз умов праці показав, що фенол і формальдегід можуть перевищувати гранично допустимі концентрації у виробничих приміщеннях, особливо при інтенсивному використанні смол або недостатній ефективності вентиляційних систем. Лабораторні та інструментальні методи контролю підтверджують необхідність регулярного моніторингу, оскільки концентрації цих сполук значно коливаються залежно від температурних умов, технологічних процесів та стану обладнання.

Моделювання розповсюдження викидів у довкіллі дозволило визначити, що найбільш уразливими зонами є території, розташовані на відстані до 500–800 метрів від підприємств, де формуються осередки підвищеної концентрації токсичних речовин, особливо за умов несприятливих метеофакторів. Оцінка ризиків для населення в цих зонах свідчить про можливе підвищення частоти респіраторних та алергічних проявів, а при тривалій експозиції - про зростання онкологічних ризиків.

Водночас дослідження доводить, що вплив фенолформальдегідних сполук може бути суттєво зменшений шляхом технічних та організаційних рішень. Використання альтернативних екологічно безпечних смол, модернізація систем очищення викидів, впровадження багатоступеневих фільтраційних технологій і перехід на замкнуті цикли виробництва забезпечують значне скорочення шкідливих речовин у повітрі й продукції.

Запровадження систем екологічного менеджменту ISO 14001 формує культуру відповідального виробництва, де екобезпека стає частиною стратегічного розвитку компанії. Належний екологічний контроль, ефективна комунікація з громадськістю та підготовка персоналу створюють умови для сталого функціонування деревообробних підприємств.

Таким чином, комплексний підхід до зниження впливу фенолформальдегідних сполук - це реальний шлях до модернізації галузі, підвищення конкурентоспроможності продукції та забезпечення здоров'я населення. Реалізація запропонованих заходів дозволяє зменшити екологічні ризики та сприяє формуванню безпечного, сучасного та екологічно орієнтованого виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богуцький В. М. *Екологія та охорона навколишнього середовища*. - Київ: Ліра-К, 2020.
2. Гудков І. М., Кравченко О. М. *Безпека життєдіяльності та охорона праці на виробництві*. - Львів: Новий Світ, 2019.
3. Державні санітарні правила ДСП 9.2.5.021-2018 «Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у повітрі робочої зони». - Київ, 2018.
4. ДСТУ ISO 16000-3:2018. *Атмосфера приміщень. Визначення формальдегіду*. - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
5. Екологічний паспорт деревообробного підприємства (прикладове дослідження). - Київ: Міненерго та Мінекології України, 2022.
6. Іващенко В. О., Марчук О. М. *Технологія деревинних плит*. - Київ: Лісівник, 2021.
7. Клименко М. О. *Моніторинг довкілля та оцінка екологічних ризиків*. - Харків: ХНАУ, 2020.
8. Методичні рекомендації з контролю викидів фенолу та формальдегіду на деревообробних підприємствах. - Київ: Держекоінспекція, 2021.
9. Національний план управління хімічними речовинами в Україні. - Київ: Міндовкілля, 2020.
10. Санітарні норми і правила СН 245-2021 «Гігієнічні вимоги до підприємств деревообробної промисловості». - Київ, 2021.
11. Черняк В. С., Демчук Т. М. *Екологічне управління та аудит*. - Львів: Сполом, 2019.
12. Юрченко Л. М. *Вплив токсичних речовин на стан атмосферного повітря в промислових містах України*. - Дніпро: ДНУ, 2022.

13. *Environmental Health Criteria 161: Phenol*. - WHO, Geneva, 2021.
14. *Formaldehyde: Indoor Air Quality Guidelines*. - World Health Organization, 2022.
15. Pizzi A. *Wood Adhesives: Chemistry and Technology*. - CRC Press, 2020.
16. Myers G. E., Kuo M. L. *Phenol-Formaldehyde Resins*. - Wood Science and Technology Journal, 2019.
17. *Best Available Techniques (BAT) for the Wood-Based Panels Industry*. - European IPPC Bureau, 2021.
18. OECD. *Emission Scenario Document on Wood Preservatives*. - Paris: OECD Publishing, 2020.
19. US EPA. *Toxicological Review of Formaldehyde*. - Washington, 2021.
20. UNEP. *Global Chemicals Outlook II*. - Nairobi, 2019.