Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Дослідження та розробка технологій захисту навколишнього середовища при виробництві ламінованих матеріалів з метою зменшення негативного впливу на довкілля»

Виконала: студентка ___4__курсу, групи 6.1832-з

___Гаркуша К. П.

(ПІБ) (підпис)

спеціальності

*183 Технології захисту навколишнього середовища*___

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

*Технології захисту навколишнього середовища*_____

(шифр і назва)

Керівник __Венгер Л. О._____

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра ___*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти ____*перший бакалаврський рівень* _____

Спеціальність *183 Технології захисту навколишнього середовища*_____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *Технології захисту навколишнього середовища*

_____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри __*МТЕТБ*___

_____*Ю.О. Бєлоконь*__

« » _____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

_____Гаркуша Ксенія Петрівна_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та розробка технологій захисту навколишнього середовища при виробництві ламінованих матеріалів з метою зменшення негативного впливу на довкілля _____

керівник роботи (проєкту) Венгер Любов Олександрівна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджена наказом вищого навчального закладу від «23»12 2025 року №1831-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 15.05.2026

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) -

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень), презентаційний матеріал, 16 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 2	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 3	Венгер Л. О., доцент	
Розділ 4		
Нормоконтроль	Вагін А.В., доцент	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Реферат		
3	Розділ 1		

4	Розділ 2		
5	Розділ 3		
6	Розділ 4		
7	Висновки		

Здобувач _____ Гаркуша К. П.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ Венгер Л. О.____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Дослідження та розробка технологій захисту навколишнього середовища при виробництві ламінованих матеріалів з метою зменшення негативного впливу на довкілля»: 95 стор., 7 табл., 8 рис., 30 джерел.

ПОЛІГРАФІЧНІ ВИРОБИ, ЛАМІНУВАННЯ, ЛАМІНАТОР, ПОЛІГРАФІЯ, ФОРМАЛЬДЕГІД, ТЕРМІЧНЕ ОКИСНЕННЯ, СТІЧНІ ВОДИ, ПОЛІМЕРНИЙ ПИЛ, МІКРОПЛАСТИК, ЛЕТКІ ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ.

Об'єкт дослідження – процес техногенного навантаження на компоненти довкілля (атмосферне повітря, гідросферу, літосферу) та робочу зону, що виникає внаслідок функціонування підприємства з виробництва багатошарових ламінованих матеріалів і гнучкої упаковки.

Мета роботи – комплексна еколого-технологічна оцінка впливу модельного виробництва ламінованих матеріалів на навколишнє середовище та розробка науково обґрунтованих технічних і організаційних рішень для зниження екологічних ризиків, мінімізації викидів летких органічних сполук, оптимізації управління відходами та підвищення загального рівня екологічної і техногенної безпеки підприємства.

У загальній частині кваліфікаційної роботи було розглянуто технологічний процес утворення забруднюючих джерел і досліджено вплив модельного підприємства на довкілля у штатному режимі.

У спеціальній частині кваліфікаційної роботи розглянуто обґрунтовано вибір та інженерне впровадження системи регенеративного термічного окиснення (RTO) для знешкодження 99% викидів летких органічних сполук. Технічне рішення базується на принципі автотермічності та рекуперації тепла, що дозволяє використовувати енергію спалених розчинників для обігріву сушильних камер ламінатора.

У розділі «Пожежна та техногенна безпека на підприємстві» проаналізовано основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори та

запропоновано заходи зі зниження шкідливого впливу на працюючий персонал.

Зміст

ВСТУП……. 10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ…… 14
1.1. Класифікація, властивості та сфери застосування сучасних ламінованих матеріалів……... 14
1.2. Технологічні особливості процесів ламінування та аналіз сировинної бази……... 15
1.3. Ідентифікація джерел та видів техногенного навантаження на об'єкти довкілля…….. 17
1.4. Аналіз екологічних ризиків виробництва ламінованих матеріалів… 19
1.5. Аналіз нормативно-правового регулювання екологічної безпеки виробництва в Україні та ЄС……... 21
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ……. 26
2.1. Характеристика підприємства…… 26
2.2. Аналіз викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря…….. 28
2.3. Оцінка утворення та складу стічних вод……... 30
2.4. Аналіз утворення твердих відходів виробництва……. 32
2.5. Оцінка впливу шумового та теплового забруднення……... 35
2.6. Комплексна оцінка екологічного стану території впливу підприємства…… 38
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ…….. 41
3.1. Технології очищення газових викидів……... 41
3.2. Методи очищення стічних вод виробництва……. 43
3.3. Утилізація та переробка відходів ламінованих матеріалів…….. 46
3.4. Впровадження маловідходних та ресурсозберігаючих технологій…. 49

3.5. Система екологічного моніторингу виробництва……. 51
3.6. Розрахунок ефективності системи очищення газових викидів…….. 53
3.6.1. Розрахунок викидів летких органічних сполук (ЛОС)……. 53
3.6.2. Розрахунок ефективності системи регенеративного термічного окиснення (RTO)……. 55
3.6.3. Розрахунок утворення виробничих відходів…….. 56
3.6.4. Розрахунок утворення стічних вод……. 58
3.6.5. Оцінка екологічного ефекту від впровадження природоохоронних заходів…… 59
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ……... 62
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів……... 62
4.1.1. Хімічний фактор: прихована загроза повітряного середовища…… 63
4.1.2. Фізичні фактори: шум, вібрація та мікроклімат……. 66
4.1.3. Механічні небезпеки та рухомі частини……. 68
4.1.4. Фактори пожежної безпеки та вибухонебезпеки……... 69
4.1.5. Особливості роботи в надзвичайних ситуаціях (НС)…… 71
4.1.6. Системний погляд на безпеку……. 72
4.2. Заходи з охорони праці на виробництві……. 73
4.2.1. Інженерно-технічні методи колективного захисту…… 73
4.2.2. Організаційні заходи та культура безпеки……. 77
4.2.3. Санітарно-гігієнічні та медико-профілактичні заходи……. 79
4.2.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)……. 80
4.2.5. Контроль та моніторинг стану охорони праці…… 82
4.3. Пожежна та техногенна безпека підприємства……. 84
4.3.1. Категорування приміщень та аналіз пожежного навантаження….. 84
4.3.2. Системи автоматичного виявлення та ліквідації пожеж…….. 85
4.3.3. Техногенна безпека та запобігання екологічним катастрофам…… 86
4.3.4. Розрахунок часу евакуації та вимоги до шляхів відходу……. 87

4.3.5. Організація дій у надзвичайних ситуаціях (ПЛАС)……. 87
4.3.6. Контроль за справністю систем захисту…… 88
ВИСНОВКИ……. 90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……... 93

ВСТУП

Світ, у якому ми живемо, за своєю суттю став «багатошаровим». Якщо розібрати на складові будь-який предмет побуту - від стаканчика для кави до панелі приладів у автомобілі чи покриття підлоги у вітальні, - ми побачимо не цілісний матеріал, а складну конструкцію, де кожен шар виконує свою специфічну місію. Ламінування як технологічний процес стало відповіддю людства на потребу в універсальності: ми хотіли, щоб дерево не гнило, папір не розмокав, а пластик виглядав як справжній мармур. Проте за цю технологічну магію поєднання непоєднуваних субстанцій природа виставляє нам рахунок, який стає дедалі важче ігнорувати.

Виробництво ламінованих матеріалів - це не просто промисловий процес. Це втручання у структуру матерії, де природне та синтетичне сплітаються настільки щільно, що роз’єднати їх знову стає майже неможливо. Саме в цій нерозривності криється головний парадокс: те, що робить матеріал ідеальним для споживача (його «вічна» стійкість та інертність до зовнішніх чинників), стає прокляттям для екосистеми.

Коли ми говоримо про вплив ламінування на довкілля, ми часто припускаємося помилки, фокусуючись лише на стадії утилізації. Насправді ж екологічний «слід» починає формуватися набагато раніше - у мить, коли молекули нафти перетворюються на полімерні плівки, а деревина подрібнюється на пил, щоб згодом стати основою для панелей під тиском гігантських пресів.

Процес ламінування - це висока температура, це тиск у сотні атмосфер і, що найважливіше, це хімія адгезії. Щоб два різні за своєю природою шари трималися вкупі десятиліттями, промисловість використовує складні клейові системи, смоли та розчинники. Саме на етапі виробництва виникає перша лінія фронту боротьби за екологію: викиди летких органічних сполук (ЛОС), формальдегідів та фенолів у повітря робочих зон та атмосферу. Це невидимий

вплив, який неможливо зафіксувати поглядом, але який змінює хімічний профіль нашої планети.

Традиційні матеріали мають зрозумілий цикл життя. Дерево згниє, метал заіржавіє і повернеться в землю у вигляді оксидів. Ламінований матеріал - це «матеріал-химера». Наприклад, звичайна упаковка типу Tetra Pak або складна меблева плита - це поєднання целюлози, алюмінію та кількох видів пластику. Для мікроорганізмів, які мільйони років еволюціонували, щоб розкладати органіку, такий «сендвіч» є неїстівним бар'єром.

Ми створили матеріали, які випадають із природного колообігу речовин. Якщо ми залишимо ламіновану панель у лісі, через п'ятдесят років її внутрішня деревна частина може почати руйнуватися, але полімерний каркас і смоли залишаться незмінними, розпадаючись лише на мікропластик, який згодом потрапить у ґрунтові води та харчові ланцюги. Це породжує необхідність у принципово нових підходах до переробки, де ламінат розглядатиметься не як сміття, а як складна руда, яку потрібно вміти ефективно «збагачувати» та розділяти на фракції.

Розробка технологій захисту: від пасивного фільтра до еко-дизайну

Це дослідження не має на меті лише констатацію екологічного песимізму. Навпаки, воно спрямоване на пошук точок росту. Сьогодні захист довкілля у сфері виробництва ламінатів еволюціонує від пасивних методів (встановлення фільтрів на трубах) до активного переосмислення самої технології.

Ми стоїмо на порозі «зеленого ламінування». Це передбачає кілька ключових напрямків:

1. *Заміна сировинної бази:* Перехід від нафтохімічних плівок до біополімерів (на основі крохмалю, целюлози чи молочної кислоти), які мають заданий термін розкладання.
2. *Безсольвентні технології:* Використання клеїв на водній основі або розплавів, які не виділяють токсичних парів у процесі нанесення.

3. *Енергетична рекуперація:* Створення замкнених теплових контурів, де енергія, витрачена на нагрів пресів, не вилітає в атмосферу, а використовується повторно для потреб виробництва.
4. *Технології розшарування (Delamination):* Розробка хімічних та фізичних методів, які дозволяють після завершення терміну служби виробу легко відокремити декоративний шар від основи, роблячи рециклінг реальністю, а не декларацією.

Дане дослідження фокусується на розкритті механізмів впливу виробництва ламінованих матеріалів на різні компоненти біосфери: від локального впливу на здоров'я працівників цехів до глобального внеску у накопичення непереробних відходів. Ми детально проаналізуємо, як зміна лише одного компонента у складі клею може радикально знизити токсичність викидів, і чому інвестиції в очисні споруди сьогодні є більш вигідними, ніж оплата екологічних штрафів завтра.

Важливо розуміти: ми не можемо просто відмовитися від ламінування. Воно занадто глибоко інтегроване в медицину (стерильна упаковка), авіабудування (легкі та міцні композити) та будівництво. Наше завдання - зробити цей процес інтелектуальним. Це шлях від «виробництва заради споживання» до «виробництва з урахуванням відновлення».

Це дослідження - спроба зазирнути всередину кожного шару ламінованого матеріалу, щоб знайти там не лише хімічні формули, а й рішення, які дозволять зберегти гармонію між технічним прогресом та цілісністю природи. Ми проаналізуємо сировинні ринки, технологічні карти виробництва та розробимо практичні рекомендації, які можуть бути впроваджені на сучасних підприємствах вже сьогодні, перетворюючи їх з джерел забруднення на зразки екологічної модернізації.

Ми маємо визнати, що епоха дешевого і безвідповідального ламінування добігає кінця. Суворі нормативи щодо викидів формальдегіду (класи E0, E1), податки на вуглецевий слід та зростаючий запит споживачів на «чисті» матеріали змушують виробників шукати вихід. У цьому контексті розробка

технологій захисту стає не просто науковою цікавістю, а питанням виживання цілої галузі.

Чи можливо створити ламінат, який після використання стане добривом? Чи може завод з ламінування мати нульовий викид у повітря? Ці питання більше не є утопічними. Вони - дорожня карта для інженерів та екологів. У наступних розділах ми розглянемо кожен етап цього складного шляху: від хімії молекул до економіки великих заводів, шукаючи відповідь на головне питання: як зробити багатошаровий світ безпечним для майбутніх поколінь.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

1.1. Класифікація, властивості та сфери застосування сучасних ламінованих матеріалів

Сьогодні важко знайти галузь, де б не використовувався «сендвіч» із різних за природою шарів, який ми звикли називати ламінатом. Ідея поєднання непоєднуваного - наприклад, крихкого паперу та стійкого полімеру - дозволила створити матеріали, що перевершують свої компоненти за всіма параметрами. Це не просто захисне покриття, а технологічний симбіоз, покликаний нівелювати слабкі сторони окремих речовин.

Сучасна класифікація за функціональним призначенням:

- *Конструкційні та оздоблювальні панелі:* Це те, що ми бачимо під ногами в офісах або на фасадах меблів. Основу тут зазвичай складає деревна стружка (HDF чи MDF), «запечатана» під високим тиском меламіновими смолами.
- *Бар'єрна упаковка (багатошарові гнучкі плівки):* Найскладніший сегмент, де в одному міліметрі товщини можуть уживатися поліетилен, алюмінієва фольга та нейлон. Така структура захищає продукти від кисню та ультрафіолету, подовжуючи термін придатності без консервантів.
- *Технічні ламінати (електроніка та авіабудування):* Сюди відносяться склотекстоліти та композити, які витримують колосальні температури та діють як діелектрики.

Головна цінність ламінування - *інертність*. Матеріал стає «байдужим» до вологи, побутової хімії та механічного тертя. Наприклад, звичайний картон розмокне за хвилину, але ламінований шар перетворює його на герметичний контейнер для напоїв. Окрім захисту, важливу роль відіграє *стабільність*

форми: шарувата структура перешкоджає деформації, яка властива цільній деревині чи м'яким металам.

Ми стикаємося з результатами цього виробництва щохвилини:

1. *Харчова промисловість:* Вакуумні пакети для кави або м’яса, де кожен шар відповідає за свій «фронт» - міцність шва, захист від світла або легкість відкриття.
2. *Будівництво:* Ламінована опалубка, що використовується при зведенні хмарочосів, витримує десятки циклів заливки бетону завдяки зносостійкому покриттю.
3. *Логістика та поліграфія:* Ламіновані документи, транспортні карти та обкладинки книг, які мають зберігати вигляд роками, попри постійний контакт із руками та вологою.

Однак саме ця «невбивність» матеріалів стає головною екологічною пасткою. Стійкість до зовнішнього впливу, яка так цінується споживачем, перетворює ламінат на об’єкт, який природа не здатна «перетравити» самостійно протягом століть. Виробничий цикл, що базується на склеюванні різнорідних субстанцій, створює моноліт, який надзвичайно важко розділити на фракції для повторної переробки.

1.2. Технологічні особливості процесів ламінування та аналіз сировинної бази

Процес створення ламінату можна порівняти з роботою ювеліра, де кожен мікронний шар має значення, або ж із «випіканням» багатошарового десерту, де від температури та тиску залежить цілісність усієї структури. Технологія ламінування - це не просто наклеювання плівки; це складний фізико-хімічний процес взаємодії поверхонь на молекулярному рівні.

Сучасна індустрія використовує три основні підходи до з’єднання шарів, кожен із яких має свій «екологічний слід»:

1. *Мокре ламінування (Wet Lamination):* Використовуються рідкі клеї. Це класика, де адгезив проникає в пори основи. Головний виклик тут - випаровування розчинників. Якщо виробництво не обладнане потужними системами фільтрації, ці леткі сполуки стають першим ударом по локальній екосистемі.
2. *Термічне ламінування (Dry/Thermal):* Тут «магія» відбувається під впливом розпечених валів. Плівка вже має сухий клейовий шар, який плавиться і в'їдається в основу. Це чистіша технологія з погляду викидів у повітря, але вона потребує колосальних енерговитрат на підтримку стабільно високої температури.
3. *Екструзійне покриття:* Найбільш радикальний метод, коли розплавлений полімер виливається безпосередньо на папір чи фольгу. Це дозволяє уникати окремого етапу склеювання, але робить матеріал монолітним - розділити таку структуру на складові після використання практично неможливо.

Сировина для ламінатів - це коктейль із відновлюваних та викопних ресурсів, що створює конфлікт інтересів у питаннях сталого розвитку.

- *Полімерний компонент:* Переважно це похідні нафтохімії - поліетилен (PE), поліпропілен (PP) та поліетилентерефталат (PET). Вони забезпечують ту саму «вічну» стійкість. Проблема в тому, що ринок досі критично залежить від первинної гранули нафти, оскільки вторинний пластик після переробки часто втрачає прозорість або еластичність, необхідну для якісної плівки.
- *Целюлозна основа:* Папір або деревоволокнисті плити. Хоча це відновлюваний ресурс, виробництво HDF-плит вимагає використання смол на основі формальдегіду. Саме ці зв'язувальні речовини є «тихою загрозою», оскільки можуть виділяти мікродози токсичних речовин протягом усього терміну експлуатації виробу в інтер'єрі.
- *Специфічні добавки:* УФ-фільтри, антистатики та пластифікатори. Це «приправи», які складають менш як 1% маси, але саме вони роблять

матеріал стійким до вигорання на сонці. Їх видобуток і синтез часто пов’язані з використанням важких металів, що ускладнює подальшу утилізацію відходів виробництва.

Сучасні лінії ламінування стають дедалі швидшими та економнішими в плані споживання сировини (шари стають тоншими, а міцність зростає). Проте цей прогрес має зворотний бік: чим складніший і тонший «рецепт» матеріалу, тим важче ідентифікувати його склад на сортувальній стрічці сміттєпереробного заводу. Таким чином, технологічна досконаліть у виробництві поки що випереджає наші можливості щодо безпечної переробки цих матеріалів.

1.3. Ідентифікація джерел та видів техногенного навантаження на об'єкти довкілля

Виробництво ламінованих матеріалів - це енергоємний конвеєр, де кожен етап залишає свій «автограф» на стані екосистеми. Якщо розглядати завод як живий організм, то його техногенне навантаження проявляється не лише через видимі димарі, а й через приховані процеси, що змінюють хімію повітря, води та ґрунту.

Найбільш агресивним джерелом впливу є ділянки *адгезивної підготовки та сушіння.* Саме тут у повітря потрапляють леткі органічні сполуки (ЛОС) - невидимі компоненти розчинників та формальдегідних смол.

- *Вид навантаження:* Хімічне забруднення приземного шару атмосфери.
- *Специфіка:* На відміну від звичайного диму, ці речовини можуть не мати різкого запаху, але здатні накопичуватися в легенях персоналу та жителів прилеглих територій. Крім того, механічна обробка країв ламінату (фрезерування та шліфування) генерує дрібнодисперсний пил, який «збагачений» залишками синтетичних клеїв, що робить його біологічно активним і небезпечним для флори.

Виробництво ламінату не належить до водомістких галузей промисловості, як, наприклад, целюлозно-паперове виробництво, однак утворювані стічні води характеризуються високим рівнем токсичності.

- *Джерела:* Промивання систем подачі клею, охолодження валів та очищення екструдерів.
- *Загроза:* У воду потрапляють фенольні сполуки та синтетичні полімери. Найбільш підступним є *мікропластиковий слід:* під час вологого обрізання або шліфування мікроскопічні частинки полімерного шару потрапляють у каналізацію. Через свої малі розміри вони проходять крізь стандартні фільтри очисних споруд і стають частиною харчового ланцюга в річкових екосистемах.

Техногенне навантаження на літосферу пов’язане з накопиченням браку та обрізків.

- *Проблема нероздільності:* Ламінат - це матеріал, який не має природного циклу розпаду. Обрізки плівки, склеєні з папером чи деревом, неможливо просто закопати. У ґрунті вони створюють механічний бар'єр для циркуляції вологи та повітря.
- *Хімічна деградація:* При тривалому зберіганні під відкритим небом під дією дощів із відходів починають вимиватися стабілізатори та пігменти (часто на основі важких металів), які поступово отруюють підземні горизонти води.

Не варто забувати про *термічне навантаження.* Постійна робота потужних пресів та сушильних камер потребує величезної кількості електроенергії та пари. Це опосередковано стимулює роботу ТЕС, що призводить до викидів вуглекислого газу та теплового забруднення територій. Таким чином, навіть «чисте» на перший погляд підприємство з ламінування є ланкою в ланцюгу глобального потепління через свій енергетичний апетит.

Для мікросвіту навколо заводу критичним є також акустичне навантаження. Високошвидкісні лінії ламінування та системи витяжної вентиляції створюють постійний низькочастотний гул. Це змушує дрібних

ссавців та птахів покидати прилеглі території, що порушує природний біобаланс у радіусі кількох кілометрів від промислового майданчика.

1.4. Аналіз екологічних ризиків виробництва ламінованих матеріалів

Якщо розглядати завод із виготовлення ламінату не як джерело корисних товарів, а як біологічний організм, то ми побачимо систему, яка споживає величезні обсяги енергії та ресурсів, натомість «видихаючи» складні хімічні сполуки. Екологічні ризики тут не обмежуються лише викидами з труб; вони розгалужуються на кілька рівнів - від локального забруднення повітря робочих зон до глобальної проблеми накопичення мікропластику.

Найбільшим ризиком при виробництві жорстких ламінатів (на основі деревних плит) є використання карбамідоформальдегідних смол. У процесі гарячого пресування, коли температура сягає критичних позначок, відбувається інтенсивне виділення вільного формальдегіду(рис. 1.1). Це газ із різким запахом, який є не просто подразником, а доведеним канцерогеном.

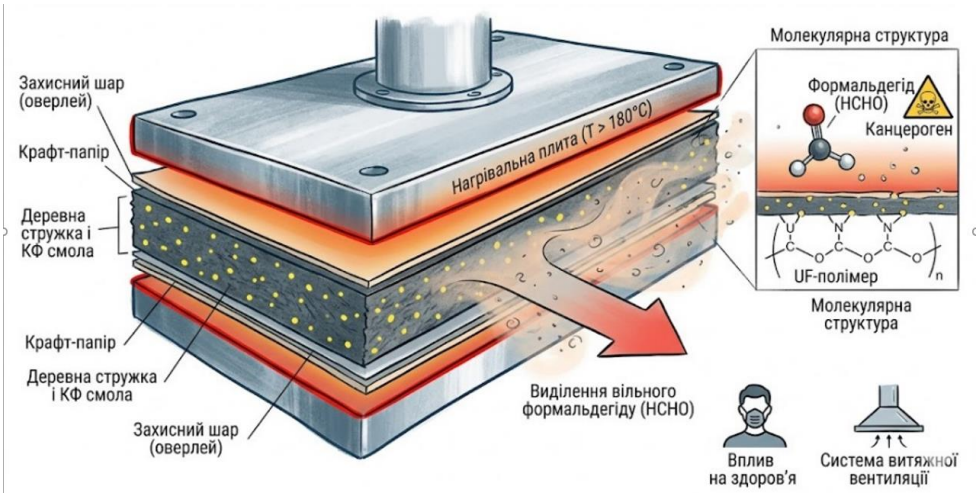


Рисунок 1.1 - Хімічний процес виробництва ламінату та ризики виділення формальдигіду

Ризик полягає у його підступності: значна частина токсинів залишається «законсервованою» всередині матеріалу. Коли готовий виріб потрапляє в

оселю, він продовжує непомітно емітувати ці сполуки протягом років, особливо під впливом сонячного світла або систем підігріву підлоги. Це створює кумулятивний ефект, де екологічний ризик виробництва плавно перетікає в ризик для здоров'я кінцевого споживача.

Процес ламінування - це битва за адгезію (зчеплення шарів), а головною зброєю в цій битві є тепло. Для розігріву масивних сталевих валів екструдерів та підтримки стабільної температури в сушильних камерах потрібна колосальна кількість електроенергії. Якщо підприємство працює на викопному паливі, кожен квадратний метр плівки чи підлогового покриття несе в собі значний «вуглецевий рюкзак».

Більш того, охолодження цих систем вимагає промислових об'ємів води. Навіть при наявності замкненого циклу водопостачання існує ризик аварійних скидів, де вода, забруднена залишками адгезивів та технічних мастил, може потрапити в ґрунтові горизонти.

У процесі виробництва неминуче виникає значна кількість промислових відходів: обрізки країв, браковані партії, відпрацьовані підкладки плівок. І тут виникає головний технологічний парадокс:

- *Папір сам по собі* можна переробити.
- *Пластик сам по собі* можна переплавити.
- *Ламінат* (їхня суміш) - це «матеріал-мутант», який не належить до жодної категорії.

Ризик полягає в тому, що ці відходи найчастіше відправляються на спалювання або захоронення. При термічній утилізації без надвисоких температур та дорогих систем очищення диму ламіновані матеріали виділяють діоксини та фурани - надтоксичні речовини, що здатні накопичуватися в харчових ланцюгах.

Менш очевидним, але вкрай небезпечним є ризик поширення мікропластику під час фінішної обробки матеріалів (шліфування, розпилювання). Тонкий полімерний пил настільки легкий, що системи аспірації не завжди здатні вловити його на 100%. Ці мікроскопічні частинки

осідають на прилеглих територіях, потрапляють у водойми та стають частиною екосистеми, звідки їх видалити практично неможливо.

Ми часто забуваємо про екологічний вплив «супутніх» процесів. Сировина для ламінату (хімічні реагенти, полімери, шпон) часто доставляється з різних континентів. Сама логістика створює навантаження на довкілля через викиди морського та автомобільного транспорту. Крім того, щоб крихкий ламінат не подряпався під час перевезення, його пакують у ще більшу кількість плівки та пінопласту, що лише подвоює обсяги полімерного сміття.

Головна небезпека виробництва ламінованих матеріалів сьогодні полягає в *лінійності моделі*. Ми беремо чисті ресурси, змішуємо їх у нерозривний конгломерат, який після короткого циклу використання перетворюється на «вічний» відхід. Це створює екологічний борг перед наступними поколіннями, оскільки розробка технологій безпечного розділення таких шарів досі перебуває на початкових етапах і коштує дорожче, ніж виробництво нового пластику. Таким чином, основний ризик - це створення матеріалів, які «сильніші» за природні механізми самоочищення планети.

1.5. Аналіз нормативно-правового регулювання екологічної безпеки виробництва в Україні та ЄС

Спроба законодавчо «приборкати» екологічний вплив виробництва ламінованих матеріалів нагадує гру на випередження. Технології розвиваються стрімко, а бюрократичні механізми часто намагаються наздогнати реальність, де пластик, смоли та деревина стають єдиним цілим. Порівняння підходів України та Європейського Союзу в цьому контексті демонструє еволюцію від жорсткого контролю «на кінці труби» до філософії циркулярної економіки, де відходи взагалі не мають виникати.

У Європейському Союзі регулювання базується не на заборонах, а на створенні умов, за яких бути «брудним» виробником стає економічно самогубно. Ключовим інструментом тут є *Директива про промислові викиди (IED),* яка впроваджує концепцію *BAT (Best Available Techniques)* - найкращих доступних технологій. Для виробника ламінату в ЄС це означає, що він не може просто поставити старий станок і платити штрафи. Він зобов'язаний використовувати обладнання, що мінімізує випаровування фенолформальдегідних смол або забезпечує замкнений цикл використання води.

Особливої уваги заслуговує *Європейський зелений курс (European Green Deal)* та оновлений План дій щодо циркулярної економіки. У цих документах ламіновані матеріали розглядаються через призму «права на ремонт» та легкості вторинної переробки. Нові нормативи ЄС поступово висувають вимогу до *екодизайну:* виробник має довести ще на етапі проєктування плівки для ламінування, як саме її можна буде відокремити від паперової основи через десять років. Це змушує бізнес інвестувати в біорозкладні адгезиви (клеї), які втрачають свої властивості під дією специфічних реагентів під час утилізації.

Україна перебуває на етапі масштабної «перепрошивки» свого екологічного законодавства, намагаючись синхронізувати його з нормами ЄС у рамках Угоди про асоціацію. Основним документом у нас залишається Закон «Про охорону навколишнього природного середовища», проте він поступово обростає більш спеціалізованими актами.

Одним із найважливіших кроків став закон «Про управління відходами», який запроваджує поняття *розширеної відповідальності виробника (РВВ)*. Це фундаментальний зсув парадигми: завод, що виготовляє ламіноване пакування, тепер несе відповідальність за те, куди це пакування потрапить після використання. Раніше відповідальність закінчувалася за воротами підприємства, тепер вона тягнеться до сміттєвого контейнера та переробного заводу.

Однак в Україні існує специфічна проблема - застарілі *ГДК (гранично допустимі концентрації)* речовин у повітрі робочої зони та атмосфері. Багато з цих норм залишилися у спадок від радянської системи, де вони часто були або занадто жорсткими (і тому ігнорувалися), або не враховували сучасні складні сполуки, такі як мікропластик або специфічні леткі органічні сполуки (ЛОС), що виникають під час гарячого ламінування.

Головна відмінність між українським та європейським регулюванням полягає у механізмі контролю. У ЄС активно діє система *EMAS (Схема екологічного менеджменту та аудиту)* - це добровільна, але престижна сертифікація. Виробник ламінату, який має таку «мітку», отримує преференції на ринку та дешеві кредити. В Україні ж екологічна безпека тривалий час сприймалася як фіскальний тягар.

Проте ситуація змінюється завдяки впровадженню інтегрованих довкільних дозволів. Це означає, що підприємство отримує один документ на всі види впливу (викиди в повітря, скиди у воду, утворення відходів), замість купи розрізнених папірців. Це робить моніторинг прозорим: якщо завод з виробництва ламінованих плит перевищує норму викидів формальдегіду, це відбивається на всьому дозволі.

Важливим аспектом регулювання є маркування. В ЄС діє система *Ecolabel,* яка для ламінату підтверджує відсутність певних фталатів та важких металів. В Україні все більшої популярності набуває знак «Зелений журавлик», який сигналізує про те, що матеріал відповідає міжнародним стандартам екологічної переваги.

Це не обов’язкова норма, але це ринковий важіль, який регулює екологічну безпеку краще за будь-які перевірки.

Отже, аналіз показує, що майбутнє нормативного регулювання - у переході від покарання за забруднення до стимулювання ресурсоефективності. Для галузі ламінування це означає перехід на водні клеї, відмову від токсичних розчинників та розробку матеріалів, які не стануть вічним сміттям, а зможуть повернутися у виробничий цикл як цінний ресурс.

Україна в цьому процесі проходить шлях «екстреного навчання», де кожен новий закон наближає вітчизняні стандарти до того рівня, коли український ламінат буде не лише міцним, а й безпечним для глобальної екосистеми.

Висновки до розділу 1

Аналіз теоретичної бази підтвердив, що сучасне виробництво ламінованих матеріалів - це компроміс між високими вимогами споживача до функціональності пакування та викликами, які постають перед екологічною безпекою. Складність структури таких матеріалів, де кожен мікронний шар виконує свою специфічну роль (від захисту від кисню до естетичного блиску), робить їх незамінними в побуті, проте водночас перетворює на складний об'єкт для подальшої переробки.

Дослідження технологічних процесів та сировинного складу дозволило виявити головний парадокс: прагнення до максимальної міцності та герметичності упаковки часто вступає в пряме протиріччя з принципами «зеленої» хімії. Використання багатокомпонентних клеїв та розчинників створює постійне техногенне напруження, яке не обмежується лише межами цеху, а поширюється на атмосферне повітря та водні ресурси через леткі сполуки та мікропластик.

Ідентифікація джерел навантаження показала, що екологічні ризики в цій галузі не є статичними. Вони трансформуються разом із розвитком технологій: на зміну грубим механічним викидам приходять приховані хімічні ризики, пов'язані з міграцією компонентів адгезивів. Це вимагає від виробника не просто встановлення фільтрів, а повної ревізії технологічного ланцюжка.

Порівняльний погляд на законодавчі норми України та ЄС демонструє чіткий тренд: ера простого контролю «на кінці труби» завершується. Європейський досвід, який активно імплементується у вітчизняне правове поле, змушує бізнес переходити до превентивного моделювання екологічних

ситуацій. Тобто безпека тепер закладається ще на етапі вибору постачальника гранули чи формули клею, а не під час перевірки стічних вод.

Таким чином, теоретичний огляд підтверджує: перехід на рейки сталого розвитку в галузі ламінації можливий лише через синергію двох шляхів - радикальної заміни токсичної сировини (наприклад, перехід на безсольвентні системи) та жорсткої гармонізації внутрішніх регламентів підприємств із міжнародними екологічними протоколами. Саме ці напрямки стануть об'єктом подальшого практичного дослідження у цій роботі.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ

2.1. Характеристика підприємства

Для того, щоб зрозуміти масштаб екологічного виклику, необхідно розглянути виробничий майданчик не просто як завод із цехами, а як складну метаболічну систему, що споживає ресурси планети та повертає їх у трансформованому, часто агресивному вигляді. Об'єктом нашого аналізу є сучасне потужне підприємство, що спеціалізується на випуску багатошарових пакувальних рішень та оздоблювальних плит. Це промисловий вузол, де перетинаються хімічні, термічні та механічні процеси, кожен з яких залишає свій відбиток на навколишньому середовищі.

Підприємство зазвичай розташовується у промисловій зоні, що має розгалужену транспортну логістику. Це логічно, адже щоденний обіг сировини - тонн паперу, рідких полімерів, клейових сумішей та алюмінію - вимагає постійного руху великогабаритного транспорту. Це вже перший, «невидимий» рівень впливу: навантаження на ґрунти та атмосферу через логістичні викиди ще до початку основного циклу.

Внутрішня структура заводу чітко розмежована за типами технологічних операцій:

- *Складська зона:* Місце зберігання летких хімічних речовин та гігроскопічної основи (паперу, деревини). Тут критично важливою є підтримка мікроклімату, що вимагає безперервної роботи систем кондиціонування та вентиляції.
- *Дільниця підготовки адгезивів:* Хімічне «серце» заводу, де готуються суміші для склеювання шарів. Саме тут зосереджено найбільший ризик аварійних розливів та інтенсивного випаровування органічних сполук.
- *Виробничі лінії ламінування:* Велетенські агрегати, де під тиском валів відбувається народження готового матеріалу. Це енергомісткий процес,

який потребує величезної кількості електрики та теплової енергії для розігріву клейових шарів.

– *Цех фінішної обробки та порізки:* Тут матеріал набуває товарного вигляду, але водночас генерує специфічні відходи - дрібнодисперсний пил та обрізки багатошарового композиту, які неможливо просто «викинути у бак».

Діяльність розглянутого об’єкта характеризується високою інтенсивністю використання водних та енергетичних ресурсів. Вода на такому виробництві виконує роль не лише інгредієнта (у водорозчинних клеях), а й основного охолоджувача для потужних валів та екструдерів. Закритий цикл водообігу на підприємстві є ідеалом, до якого прагнуть, проте в реальних умовах технічна вода часто потребує складної багатоступеневої очистки від залишків синтетичних смол перед скиданням у загальну систему.

Вплив на атмосферне повітря є головним болем екологічної служби заводу. Основна проблема полягає у використанні летких органічних сполук (ЛОС). Під час нагрівання та полімеризації клею у повітря робочої зони, а згодом і у високі шари атмосфери, потрапляють пари розчинників та формальдегідів. Навіть при встановленні сучасних скруберів та фільтрів, підприємство залишається джерелом специфічного хімічного фону в радіусі кількох кілометрів.

Особливістю цього підприємства є те, що воно виробляє «майбутнє сміття», яке не піддається стандартній переробці. Внутрішній брак - обрізки плівки чи панелей - є серйозним викликом. Оскільки вони складаються з різних матеріалів, надійно спаяних між собою, їх не можна просто розплавити як чистий пластик або розчинити як чистий папір. Таким чином, завод змушений або накопичувати ці залишки на спеціалізованих полігонах, або інвестувати у надзвичайно дорогі технології термічного розщеплення (піролізу).

Не можна оминути й той факт, що підприємство є великим роботодавцем. Це створює певний соціальний тиск: з одного боку, громада

зацікавлена у робочих місцях, з іншого - стає заручником техногенного впливу. Характеристика підприємства показує, що воно є класичним прикладом індустрії «перехідного періоду»: від старих методів лінійного виробництва до спроб впровадження принципів циркулярної економіки, де кожен грам викидів має бути врахований та компенсований.

Отже, дане підприємство - це не просто виробник ламінату, а точка активного втручання в біосферу. Його екологічний портрет складається з великих витрат енергії, складних хімічних викидів та проблеми утилізації композитних відходів, що ставить перед нами завдання розробки радикально нових захисних технологій.

2.2. Аналіз викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Коли ми говоримо про екологічний відбиток ламінації, більшість уявляє собі гори пластикового сміття на звалищах. Проте справжня «невидима війна» з довкіллям починається значно раніше - безпосередньо в цехах, де під впливом високих температур та тиску хімічні сполуки переходять у газоподібний стан і потрапляють в атмосферу. Повітря навколо потужностей із виробництва ламінованих матеріалів стає своєрідним коктейлем із летких органічних сполук (ЛОС), концентрація яких без належної очистки може змінити локальний мікроклімат та здоров’я населення в радіусі кількох кілометрів.

Основним епіцентром забруднення є зона гарячого пресування та склеювання. Тут матеріал піддається термічному шоку, що провокує деструкцію адгезивів. Якщо в меблевому ламінаті основою виступають карбамідоформальдегідні смоли, то головним ворогом стає *формальдегід.* Це безбарвний газ із різким запахом, який має здатність до накопичення. Його підступність у тому, що викиди відбуваються не лише під час виробництва, а й тривають у форматі «пасивної емісії» від готового продукту протягом місяців.

У секторі гнучкої упаковки, де панують багатошарові плівки, ситуація інша. Тут домінують розчинники - *етилацетат, толуол та спирти.* Вони необхідні для того, щоб клей залишався рідким під час нанесення, але мають повністю випаруватися до моменту змотування плівки в рулон. Куди діваються ці пари? Без закритих циклів рекуперації вони просто виштовхуються вентиляцією назовні. Толуол, наприклад, є токсичним для центральної нервової системи, а при взаємодії з сонячним світлом та оксидами азоту він сприяє утворенню приземного озону - ключового компонента міського смогу.

Окрім газів, виробництво ламінату генерує величезну кількість специфічного пилу. Під час обрізки країв ламінованих панелей або шліфування поверхонь у повітря злітає не просто деревна тирса, а мікрочастинки пластику, змішані з отверділими смолами. Цей «синтетичний пил» набагато небезпечніший за органічний, оскільки він не розкладається в легенях і може переносити на своїй поверхні адсорбовані хімікати.

Ще один нестандартний приклад - *масляний туман.* У потужних пресах використовуються гідравлічні системи та системи змащення, які при перегріві створюють дрібнодисперсну суміш масел у повітрі. Ця масляна плівка, осідаючи навколо заводу, блокує дихання рослин (продихи на листі), фактично «душачи» місцеву флору.

Важливо розуміти, що викиди ламінаційних підприємств мають піковий характер. Найбільша концентрація шкідливих речовин спостерігається під час запуску ліній або при зміні рецептури клею. Аналіз атмосферного повітря в таких зонах часто демонструє перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) не за середньорічними показниками, а саме за короткочасними викидами, які «накривають» найближчі житлові масиви.

Додатковим фактором ризику є використання *фенольних сполук.* Фенол, потрапляючи в повітря, здатний переміщатися на значні відстані, а при випаданні опадів - перетворюватися на токсичні розчини, що отруюють

ґрунти. Це створює замкнене коло: те, що почалося як викид із заводської труби, закінчується деградацією підземних вод.

Атмосферне забруднення від ламінування - це багатокомпонентна проблема. Вона не обмежується лише формальдегідом. Ми маємо справу з цілим спектром вуглеводнів, ефірів та твердих частинок. Сучасний моніторинг показує: якщо підприємство економить на фільтрах-адсорберах або не використовує технології допалювання газів (термічного окислення), воно стає джерелом постійного хімічного тиску. Захист атмосфери в цій галузі вимагає переходу від «фільтрації на виході» до зміни самої сировинної бази - наприклад, використання клеїв на водній основі, які замість токсичних розчинників виділяють у повітря звичайну водяну пару.

2.3. Оцінка утворення та складу стічних вод у виробництві ламінованих матеріалів

Коли мова заходить про екологічний слід ламінування, більшість згадує про пластикове сміття чи вирубку лісів. Проте «невидимий» фронт забруднення проходить крізь дренажні системи заводів. Стічні води цього сектору - це не просто брудна вода, а справжній хімічний бульйон, склад якого динамічно змінюється залежно від конкретного етапу технологічного циклу: від промивання клейових вузлів до охолодження екструдерів.

Основний об’єм рідких відходів утворюється не під час самого з’єднання шарів, а під час супутніх процесів обслуговування обладнання. Найбільш критичними точками є:

1. *Промивання систем подачі адгезивів:* Кожна зміна типу клею або технічна зупинка лінії вимагає очищення резервуарів і трубопроводів. Це призводить до потрапляння у воду залишків синтетичних смол, каучуків та емульгаторів.
2. *Охолодження валів та механізмів:* Хоча це переважно умовно-чисті води, вони несуть теплове забруднення. Потрапляючи у відкриті

водойми без попереднього охолодження, така вода порушує кисневий баланс, що стимулює розмноження синьо-зелених водоростей і загибель місцевої фауни.

3. *Підготовка поверхні (травлення та знежирення):* У виробництві фольгованих або металізованих ламінатів основу часто обробляють хімічними реагентами для кращої адгезії. Стіки після таких ванн насичені ПАР (поверхнево-активними речовинами) та солями металів.

Якщо розкласти склад стічних вод на складові, ми побачимо перелік сполук, які природа не здатна нейтралізувати самотужки.

- *Фенольні сполуки та формальдегід:* Це «спадщина» виробництва деревно-шаруватих пластиків та меблевих щитів. Формальдегід є надзвичайно токсичним для мікроорганізмів, які відповідають за самоочищення річок. Навіть у мізерних концентраціях він діє як антисептик, «стерилізуючи» воду і вбиваючи корисні бактерії.
- *Синтетичні полімери у зваженому стані:* Мікроскопічні часточки пластику та клейового пилу утворюють стійкі колоїдні системи. Вони не осідають на дно, а створюють каламутність, яка блокує сонячне світло, необхідне для фотосинтезу водних рослин.
- *Органічні розчинники (етилацетат, спирти, кетони):* Вони потрапляють у воду при використанні сольвентних клеїв. Ці речовини мають високу леткість, але частина їх розчиняється у воді, створюючи специфічний запах і підвищуючи показник ХСК (хімічного споживання кисню).
- *Важкі метали (хром, нікель, мідь):* Зустрічаються у стоках підприємств, що спеціалізуються на декоративних ламінатах із металевим блиском або специфічними антикорозійними властивостями.

Вплив на міські очисні споруди та природні екосистеми

Головна підступність стоків ламінації полягає в їхній *непрогнозованості*. Якщо завод скидає відходи в загальну каналізацію, біологічні фільтри міських очисних споруд часто не справляються. Бактерії

активного мулу, які мають переробляти органіку, просто «отруюються» залповими викидами формальдегіду чи ПАР. В результаті неочищена хімія проходить транзитом прямо в річки.

Нестандартним прикладом негативного впливу є формування «плівкового ефекту» на поверхні води. ПАР та залишки полімерів створюють тонку мікроплівку, яка діє як герметична кришка для водойми. Це перешкоджає газообміну між водою та атмосферою. Риба починає страждати від гіпоксії (задухи), навіть якщо сама вода здається прозорою.

Для об’єктивної оцінки стану довкілля недостатньо просто виміряти рівень pH. Необхідний глибокий аналіз біохімічного споживання кисню ($БСК_5$) та токсикологічні тести на дафніях чи водоростях. Тільки так можна зрозуміти кумулятивний ефект - як різні хімікати підсилюють токсичність один одного (ефект синергії).

Часто виробники намагаються приховати реальну картину шляхом розведення стоків чистою водою, щоб досягти нормативних показників концентрації. Однак загальна кількість шкідливих речовин, що потрапляє в екосистему, залишається незмінною. Саме тому сучасний аудит має базуватися на *масовому балансі речовин:* скільки хімії зайшло на склад у вигляді сировини і скільки її «зникло» під час промивання обладнання.

Отже, оцінка стічних вод у цій індустрії - це не лише про екологічні штрафи, а про виявлення технологічних дірок, де дорогі клейові суміші та полімери буквально змиваються в унітаз разом із грошима підприємства та здоров'ям довкілля. Вирішення проблеми лежить у переході на замкнені цикли водокористування, де вода після очищення знову повертається на лінію, не залишаючи меж заводу.

2.4. Аналіз утворення твердих відходів виробництва

Виробництво ламінованих матеріалів - це процес, де прагнення до ідеальної геометрії та бездоганної поверхні неминуче стикається з фізичними

обмеженнями матеріалів. Як наслідок, «бічним продуктом» технологічного прогресу стають гори твердих відходів, які за своєю структурою є набагато складнішими, ніж відходи звичайної деревообробки чи паперової промисловості. Основна проблема полягає в тому, що ці відходи - це не просто сміття, а «композитний вузол», де різні за своєю природою речовини переплетені настільки щільно, що їх розділення стає економічним та технічним кошмаром.

Тверді відходи на підприємствах з ламінування можна розділити на три критичні групи, кожна з яких має свій специфічний вплив на довкілля:

1. *Технологічний обріз (крайові залишки):* Оскільки більшість ламінаторів працюють з рулонними або листовими матеріалами фіксованої ширини, підгонка під конкретне замовлення завжди супроводжується відсіканням «зайвих» сантиметрів по краях. Ці смужки вже містять у собі клейовий шар, плівку та основу. Їх неможливо просто кинути в дробарку для паперу, бо полімерні компоненти миттєво забивають ножі та плавляться від тертя, створюючи липку масу.
2. *Пуско-налагоджувальний брак:* Кожен запуск лінії - це метри зіпсованого матеріалу. Поки вали розігріваються до потрібної температури, а тиск стабілізується, матеріал виходить недопресованим, з бульбашками повітря або зморшками. Ці відходи є наймасивнішими, оскільки вони мають повну товщину і максимальну щільність.
3. *Пил та мікрочастинки (результат фінішної обробки):* При фрезеруванні замкових з’єднань (наприклад, у підлоговому ламінаті) до 10-15% маси плити перетворюється на дрібнодисперсний пил. Це найпідступніший вид відходів. Якщо звичайна тирса є органікою, то пил від ламінату - це суміш подрібненого дерева, меламінових смол, корунду (який додають для зносостійкості) та пігментів.

Проблема твердих відходів ламінування полягає в їхній *хімічній консервації.* Природні процеси гниття чи розкладання тут заблоковані

полімерним панциром. Коли такі відходи потрапляють на звалища, вони створюють «порожні об’єми», які не осідають десятиліттями.

Більш того, при вимиванні опадами з таких відходів можуть виділятися пластифікатори та залишки формальдегіду, які просочуються в ґрунтові води. Якщо ж спробувати позбутися їх шляхом простого спалювання на відкритому повітрі або в печах без системи допалювання газів, ми отримаємо викид діоксинів та фуранів - одних із найнебезпечніших токсинів, що утворюються при неконтрольованому горінні хлорвмісних пластиків та смол.

Попри свою складність, тверді відходи ламінування є концентрованим джерелом енергії та вторинної сировини. В середньому, тонна таких відходів за своєю теплотворною здатністю може конкурувати з бурим вугіллям. Однак сучасний аналіз вказує на необхідність переходу від спалювання до *каскадного використання:*

- *Мікро-дроблення для деревокомпозитів:* Дослідження показують, що подрібнені до стану борошна відходи ламінату можна додавати як наповнювач у виробництво дерево-полімерних піщаних сумішей (наприклад, для садових доріжок чи бордюрів). Полімерні частки в цьому випадку виступають як додатковий зв’язувальний елемент.
- *Виробництво паливних брикетів високої щільності:* За умови використання промислових фільтрів, пресування дрібних обрізків у пелети дозволяє отримати паливо з надзвичайно низькою вологістю (близько 5-7%), що значно ефективніше за звичайні дрова.

Головною перешкодою в ефективному поводженні з твердими відходами на сьогодні залишається логістика. Малі та середні підприємства часто не мають обладнання для сортування та пресування відходів безпосередньо в цеху. Як наслідок, великі об’єми легкого, але об’ємного сміття транспортуються на великі відстані, що збільшує вуглецевий слід продукції ще до того, як вона потрапить до споживача.

Таким чином, аналіз утворення твердих відходів демонструє, що галузь потребує не просто кращих фільтрів на трубах, а радикального перегляду

підходів до дизайну матеріалів. Майбутнє за тими ламінатами, де всі шари належать до однієї родини полімерів або де клейовий склад дозволяє «розклеїти» сендвіч під впливом специфічного реагенту чи температури в кінці циклу життя виробу. Наразі ж, кожен квадратний метр ламінату у вашій вітальні залишає після себе «шлейф» із приблизно 200-400 грамів складних відходів, які людство поки що лише вчиться приборкувати.

2.5. Оцінка впливу шумового та теплового забруднення

Коли мова заходить про екологію промисловості, ми звикли фокусуватися на тому, що можна побачити або відчути на дотик: дим із труб, стічні води чи гори пластикових обрізків. Однак виробництво ламінованих матеріалів генерує два типи «невидимого» забруднення, які діють підступно та масштабно - це надлишкове тепло та акустичний хаос. Вони не залишають плям на ґрунті, але кардинально змінюють мікроклімат та біологічний фон довкола підприємства.

Цехи ламінування - це зони високої механічної активності. Основне джерело шуму тут - не просто гул моторів, а специфічні високочастотні звуки, що виникають під час розмотування гігантських рулонів плівки, роботи вакуумних насосів та систем пневматичного подавання сировини.

Особливу небезпеку становить *імпульсний шум,* що виникає при роботі гільйотинних ножів та систем порізки готового ламінату. Якщо фоновий гул сприймається організмом як монотонна втома, то різкі звукові піки діють як мікрошоки для нервової системи не лише працівників, а й представників фауни в радіусі кількох кілометрів. Птахи залишають прилеглі лісопосадки, а дрібні гризуни змінюють цикли міграції, що порушує природний ланцюг живлення.

З технічного боку шум свідчить про енергетичну неефективність. Кожен зайвий децибел - це енергія, яка не пішла на створення матеріалу, а «розчинилася» в просторі, деформуючи акустичне середовище. Сучасна оцінка шумового впливу на таких підприємствах сьогодні виходить за межі

простого вимірювання децибелів; ми розглядаємо *акустичний профіль,* аналізуючи, як вібрація від важких пресів передається через фундамент у ґрунт, створюючи низькочастотний гул, який відчутний навіть там, де повітряний шум уже згасає.

Процес ламінування неможливий без термічного впливу. Щоб клей активувався, а шари полімеру «зрослися» з основою, вали нагріваються до екстремальних температур. Величезна кількість цієї теплової енергії неминуче витікає в навколишнє середовище через системи охолодження та вентиляцію.

Виробництво ламінату фактично працює як потужний тепловий радіатор. Навколо великих заводів формуються так звані *«острови тепла».* Це призводить до кількох неочевидних, але критичних наслідків:

1. *Локальна деформація атмосферних потоків:* Постійний висхідний потік гарячого повітря змінює режим опадів над промисловою зоною.
2. *Теплове виснаження водойм:* Якщо підприємство використовує проточну воду для охолодження валів (навіть через закриті теплообмінники), вода, що повертається в річки, часто на 5-10 градусів тепліша за норму. Це провокує «тепловий шок» у риб, прискорює цвітіння води та знижує рівень розчиненого кисню, перетворюючи живу водойму на стічну канаву.
3. *Зміна біологічних ритмів:* Підвищена температура в зоні підприємства взимку створює ілюзію весни для рослин і комах, що призводить до їхньої передчасної активності та подальшої загибелі під час заморозків.

Боротьба з цими видами забруднення вимагає зміни парадигми: ми маємо сприймати шум і тепло не як неминуче зло, а як втрачений ресурс.

– *Теплова рекуперація:* Впровадження систем «повітря-вода», які забирають надлишкове тепло від ламінаторів і спрямовують його на підігрів води для побутових потреб або опалення теплиць (рис. 2.1). Це не лише захищає довкілля від перегріву, а й зменшує потребу заводу в додатковому газі чи електриці.

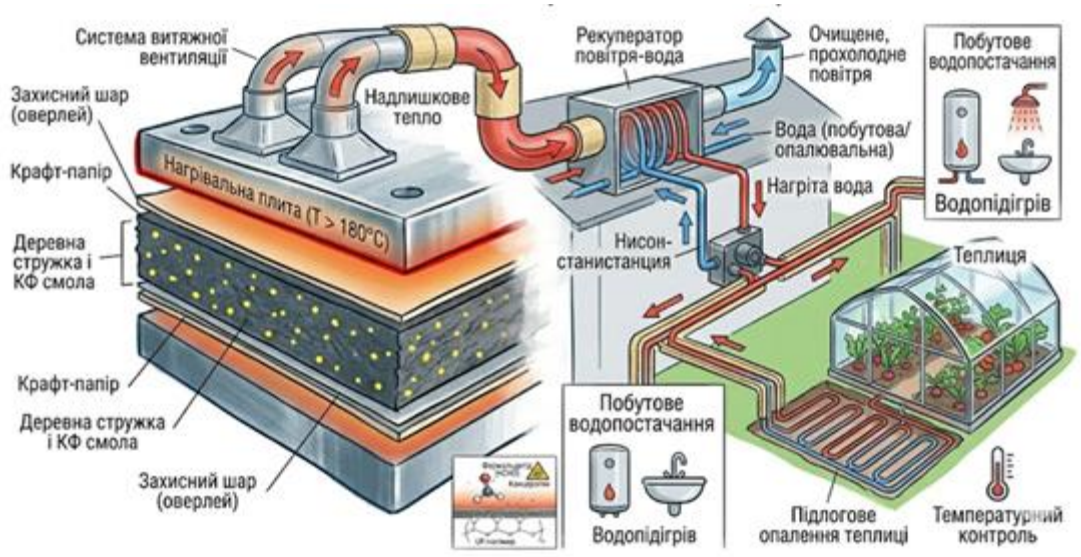


Рисунок 2.1 – Система теплової рекуперація при виробництві ламінату

– *Акустична ізоляція нового покоління:* Замість стандартних бетонних стін - використання багатошарових поглинальних панелей, які, за іронією долі, самі можуть бути виготовлені з перероблених відходів ламінату (рис. 2.2). Створення «зелених екранів» (густих насаджень певних видів дерев) навколо цехів дозволяє розсіювати звук природним шляхом.

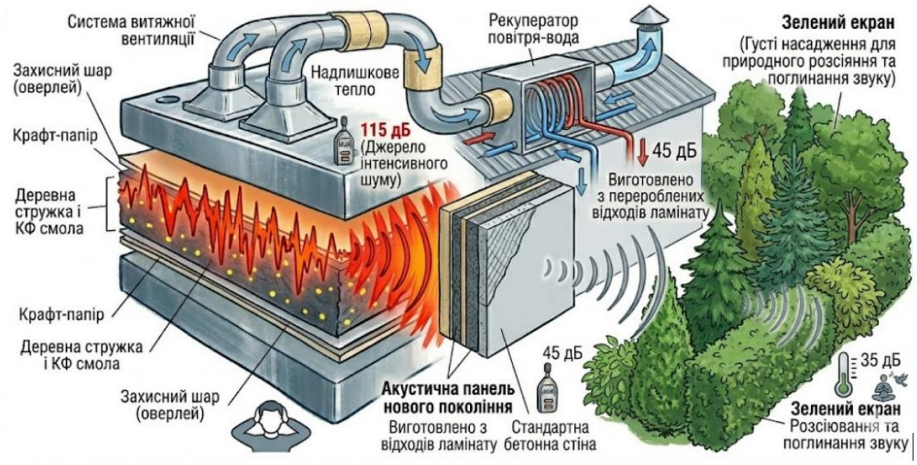


Рисунок 2.2 – Інноваційна система акустичного контролю і шумозахлушення при виробництві ламінату

Оцінка шумового та теплового впливу - це іспит на зрілість для сучасного виробництва. Тільки мінімізуючи ці невидимі хвилі впливу, ми зможемо говорити про справжню екологічність ламінованих матеріалів, де комфорт споживача не купується ціною тиші та термічного спокою природи.

2.6. Комплексна оцінка екологічного стану території впливу підприємства

Оцінка екологічного стану зони, де функціонує завод із виробництва ламінованих матеріалів, не може обмежуватися лише замірами «на виході» з труби чи стічного колектора. Це спроба прочитати історію взаємодії промислового гіганта з живою природою через непрямі ознаки, накопичувальні ефекти та реакцію біосистем. Територія впливу - це живий організм, який з часом починає дзеркально відображати всі технологічні огріхи виробничого циклу.

Першим об'єктом, що приймає на себе основний тягар, є *ґрунт.* У випадку з виробництвом ламінату мова йде не про випадкове засмічення, а про мікроскопічне накопичення специфічних сполук. Оцінка стану земель навколо підприємства виявляє зони акумуляції пластифікаторів та мікрочастинок полімерного пилу.

Цікавим, хоча й тривожним прикладом є зміна структури ґрунтових мікробіоценозів. Там, де концентрація пилу від шліфування ламінованих панелей перевищує норму, зникають певні види корисних бактерій, що відповідають за переробку органіки. ґрунт стає «консервованим»: він перестає дихати, а його здатність до самоочищення різко падає. Ми спостерігаємо ефект «стерилізації» прилеглих територій, де природні цикли розпаду сповільнюються через присутність синтетичних смол.

Аналізуючи стан *повітряного басейну*, важливо відійти від сухих цифр ГДК (гранично допустимих концентрацій). Комплексна оцінка передбачає розуміння того, як поводяться викиди формальдегіду та фенолу в умовах конкретного ландшафту.

Наприклад, якщо підприємство розташоване в низині, навіть нормативні викиди можуть створювати локальні «озера» важких газів у безвітряну погоду. Дослідження показують, що в радіусі 500–800 метрів від дільниць ламінування спостерігається явище синергізму - коли кілька помірно небезпечних речовин, змішуючись у повітрі під впливом сонячного випромінювання, утворюють

нові, більш агресивні сполуки. Це не просто смог; це специфічний хімічний фон, який змінює кислотність опадів, що згодом «випалюють» хвойні насадження в санітарній зоні.

Водні ресурси навколо таких об’єктів страждають не стільки від прямих скидів, скільки від фільтрації зливних вод. Територія впливу зазвичай пронизана мережею водовідведення, яка змиває з промислових майданчиків мікропластик та залишки адгезивів.

Комплексна оцінка включає моніторинг стану дрібних водотоків та підземних горизонтів. Нестандартним індикатором тут виступає стан прибережної флори. Рослини-гігрофіти починають демонструвати аномалії росту або зміну забарвлення листя через зміну сольового складу води. Присутність у воді навіть слідових кількостей синтетичних смол створює тонку плівку на поверхні, що порушує газообмін водойми, буквально «задушуючи» водні організми ще до того, як прилади зафіксують критичне перевищення токсинів.

Найбільш чесним показником екологічного стану є стан живої природи. *Дослідження біоти* в зоні впливу підприємства дозволяє побачити «хронічну втому» екосистеми.

Лишайники: Їх зникнення на корі дерев навколо заводу свідчить про високу концентрацію кислотних оксидів та органічних розчинників. *Комахи:* Зміна видового складу запилювачів є чітким сигналом про те, що хімічне навантаження на територію перевищило поріг адаптації.

Висновки до 2 розділу

Підсумовуючи результати проведених досліджень у другому розділі, можна констатувати, що модельне виробництво ламінованих матеріалів є джерелом багатовекторного, хоч і локалізованого техногенного навантаження. Проведений аналіз дозволив чітко розставити пріоритети в екологічній проблематиці підприємства.

По-перше, головним «больовим вузлом» є атмосферні викиди. Ми побачили, що навіть за умови стабільної роботи обладнання, використання етилацетату та інших розчинників створює постійний хімічний фон. Основна складність тут не стільки в обсягах, скільки в леткості цих сполук, які миттєво поширюються в приземному шарі повітря, формуючи специфічне навантаження на межі санітарної зони.

По-друге, ситуація з відходами виявилася найбільш неоднозначною. Якщо з металевою тарою чи картоном усе зрозуміло (це ліквідна сировина), то композитні обрізки ламінатів - це фактично «технологічний глухий кут». Через міцне склеювання різних за природою шарів (плівок, фольги), такий відхід практично неможливо повернути в цикл як чистий ресурс. Це перетворює виробництво на генератор сміття, яке десятиліттями зберігатиметься на полігонах без жодних змін.

Що стосується водного та фізичного факторів, то вони мають скоріше супутній характер. Проблеми стоків чи шуму цілком вирішуються за допомогою інженерних бар’єрів і не мають критичного впливу на загальну екосистему району.

Комплексна оцінка показала, що підприємство не провокує катастрофічних змін, проте воно впевнено змінює екологічний профіль території. Поточний стан можна описати як «балансування на межі нормативів». Це означає, що будь-яке нарощування потужностей без радикальної зміни підходів до фільтрації газів та переробки багатошарових залишків неминуче призведе до деградації локального довкілля. Таким чином, виявлені слабкі місця прямо вказують на необхідність переходу від простого контролю за трубами до впровадження «чистіших» технологій, що й стане основою для наступних розробок.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЛАМІНОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Технології очищення газоповітряних викидів та мінімізація атмосферного впливу

Виробництво ламінату, попри свою зовнішню «чистоту» та впорядкованість, приховує серйозний виклик для екології повітряного басейну. Основна проблема полягає не в димі чи сажі, а в невидимих, але агресивних летких органічних сполуках (ЛОС). Коли ми чуємо характерний «запах нових меблів» або свіжої поліграфії, ми насправді відчуваємо молекули формальдегіду, фенолу або розчинників, що вирвалися з технологічного циклу. Сучасний захист довкілля в цій галузі переходить від пасивного очікування до активного перехоплення цих речовин.

Одним із найбільш радикальних та дієвих методів очищення є регенеративне термічне окиснення (рис. 3.1). Суть технології полягає в тому, що забруднене повітря з цехів ламінування подається в установку, де розігрівається до температур понад 800°С. При таких показниках складні вуглеводні просто розпадаються на водяну пару та вуглекислий газ.

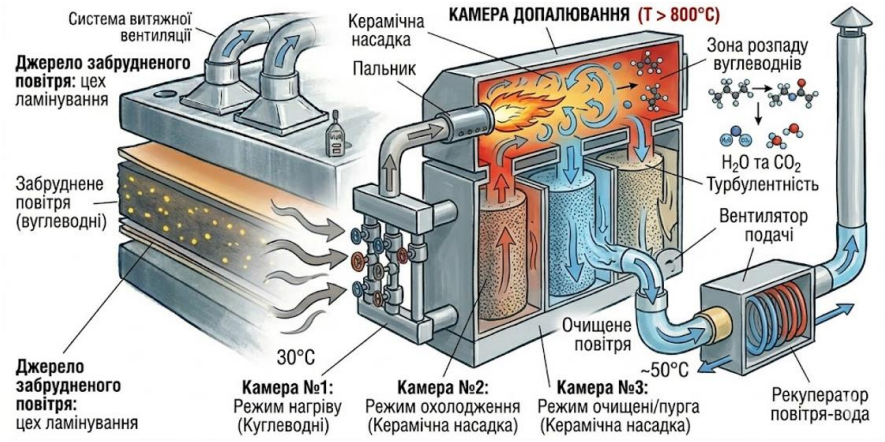


Рисунок 3.1 – Регенеративне термічне окиснення токсинів

Для підприємств, які працюють із низькими концентраціями шкідливих речовин, але великими обсягами повітря, ідеальним рішенням є вугільні

фільтри та цеолітові молекулярні сита. Це фізичний метод очищення, де молекули розчинника буквально застрягають у порах сорбенту.

Особливість сучасних систем полягає в їхній *регенеративності*. Замість того, щоб викидати відпрацьоване вугілля, система «пропарює» його, збирає концентрований забруднювач для подальшої переробки або безпечної утилізації, а чистий сорбент повертає в роботу. Це мінімізує кількість твердих відходів і робить систему майже автономною.

Найбільш перспективним і природним напрямком є використання біореакторів. Це спеціальні колони, заповнені органічним субстратом (наприклад, сумішшю кори та компосту), на якому живуть колонії специфічних бактерій. Коли повітря з цеху проходить крізь цей вологий шар, мікроорганізми «поїдають» молекули формальдегіду та фенолу, використовуючи їх як джерело енергії для своєї життєдіяльності (рис. 3.2).

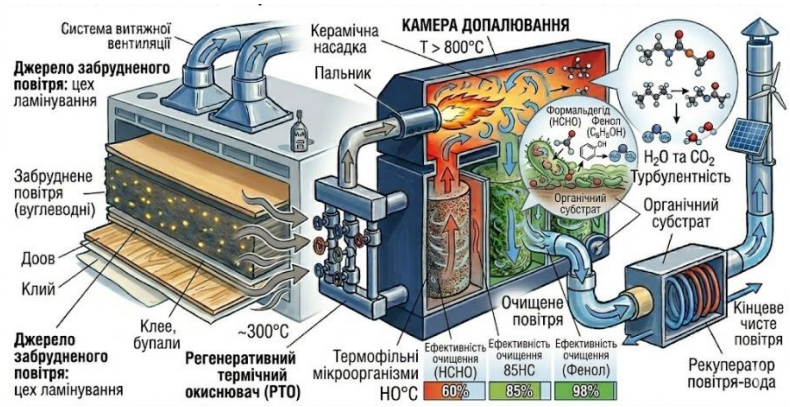


Рисунок 3.2 - Біофільтрація

Цей метод має кілька вагомих переваг:

1. *Відсутність вторинного забруднення:* Немає потреби у спалюванні палива чи використанні хімічних реагентів.
2. *Низька вартість:* Бактерії працюють «безкоштовно», потребуючи лише підтримки певної вологості та температури.
3. *Естетика виробництва:* Біофільтри часто виглядають як зелені зони на території заводу, що змінює імідж підприємства з «промислового гіганта» на «еко-свідомого партнера».

Найкращий спосіб захистити довкілля - це не виробляти бруд взагалі. Тому сьогодні розробляються технології ламінування на основі *водних дисперсій та Hot-melt адгезивів* (клеїв-розплавів). У першому випадку замість токсичного ацетону чи толуолу використовується звичайна вода, яка під час висихання не шкодить природі. У другому - клей переходить у рідкий стан лише за високої температури без жодних випаровувань.

Технологічний захист неможливий без контролю. Сучасні заводи впроваджують сенсорні мережі «Digital Nose» (цифровий ніс), які аналізують склад повітря на кожному етапі - від зони нанесення клею до виходу з вентиляційної труби. Якщо концентрація шкідливих речовин хоча б на мить перевищує норму, система автоматично змінює швидкість роботи лінії або спрямовує потік повітря на додаткову фільтрацію.

Таким чином, розробка технологій захисту повітря у сфері ламінування еволюціонує від простої вентиляції до складних замкнених систем, де кожен викид розглядається або як джерело енергії, або як сировина для вторинної переробки. Це дозволяє нівелювати конфлікт між промисловим прогресом та правом людини на чисте довкілля.

3.2. Методи очищення стічних вод виробництва

Стічні води заводів, що спеціалізуються на ламінуванні, - це не просто «брудна вода», а складний хімічний коктейль, де розчинені залишки адгезивів, мікропластик, формальдегіди та специфічні поверхнево-активні речовини (ПАР). Якщо звичайні міські стоки можна очистити за допомогою стандартної біологічної фільтрації, то промислові викиди ламінаторних ліній потребують агресивного та багатоетапного втручання. Викидати такий концентрат у загальну каналізацію без підготовки - це все одно що намагатися розчинити шматок пластику в акваріумі з рибами.

Процес очищення зазвичай розділяють на кілька «ліній оборони», кожна з яких прибирає певний тип забруднювача:

1. *Коагуляція та флокуляція (Хімічне осадження):*

   У воду додаються реагенти, які змушують дрібні частки клею та смол злипатися у більші пластівці. Це нагадує те, як молоко згортається від лимонного соку. Ці «пластівці» або випадають у осад, або спливають на поверхню у вигляді густої піни, яку легко зняти механічними шкребками. Це критично важливо для видалення синтетичних сполучних речовин, які інакше залишалися б у завислому стані вічно.

2. *Флотодеструкція:*

   Метод, при якому через стічну воду пропускають мільярди дрібних бульбашок повітря. Бульбашки «підхоплюють» частинки гідрофобних полімерів (тих, що відштовхують воду) і виносять їх нагору. Це ідеально працює для видалення залишків плівок та мастил, що використовуються для охолодження валів ламінатора.

3. *Адсорбція на активованому вугіллі:*

   Коли великі частки вже видалені, залишається невидима загроза - розчинені феноли та формальдегіди. Вугільні фільтри діють як молекулярна губка, затримуючи токсини в своїх порах. Проблема лише в тому, що після насичення таке вугілля саме стає небезпечним відходом, який потребує спалювання при надвисоких температурах.

4. *Мембранна фільтрація (Зворотний осмос):*

   Це «вищий пілотаж» очищення. Вода під тиском проходить крізь мембрану, яка пропускає лише молекули H_2O, затримуючи навіть найдрібніші іони солей та складні органічні сполуки. Це дозволяє підприємству створити *замкнений цикл:* очищена вода повертається в цех, а не скидається в річку.

Для наочності розглянемо порівняльні характеристики різних методів очищення, що застосовуються на сучасних підприємствах з випуску багатошарових матеріалів.

Таблиця 3.1 - Порівняльна характеристика методів очищення промислових стоків

Метод очищення	Основна ціль (забруднювач)	Ефективність видалення (%)	Енерго-витрати (кВт/год на м³)	Переваги	Основний недолік
Механічне відстоювання	Грубі домішки, тирса	40–60%	0.2	Низька вартість	Не видаляє розчинену хімію
Реагентна коагуляція	Залишки клею, фарби	85–92%	1.5	Висока швидкість	Утворює велику кількість токсичного шламу
Озонування (окиснення)	Феноли, формальдегіди	95–98%	4.0	Повна деструкція токсинів	Дороге обладнання та ризик корозії
Зворотний осмос	Мікропластик, солі	99.5%	6.5	Можливість рециркуляції води	Потребує частої заміни мембран
Електрофлотокоагуляція	ПАР, емульсії	90%	3.5	Не потребує додавання хімікатів	Висока вартість електроенергії

Останнім словом у захисті довкілля є використання специфічних штамів бактерій, які «навчилися» харчуватися полімерними ланцюгами. Це звучить як наукова фантастика, але в лабораторних умовах певні мікроорганізми здатні розщеплювати складні адгезиви на вуглекислий газ та воду. Впровадження таких біореакторів після стадії механічного очищення дозволяє суттєво знизити хімічне навантаження на довкілля без використання агресивних реагентів.

Важливо розуміти: будь-яке очищення не знищує бруд безслідно, воно лише збирає його в одному місці. Шлам (густий осад), що залишається після фільтрації води на ламінаторних заводах, є вкрай небезпечним. Сучасна розробка технологій захисту спрямована на те, щоб не просто захоронювати цей осад на полігонах, а включати його до складу будівельних матеріалів (наприклад, додавати у низькомарковий бетон або асфальт), де токсичні частки будуть надійно «зацементовані» і не потраплять у ґрунт.

Таким чином, розробка систем очищення стічних вод сьогодні зміщується від простого фільтрування до створення інтелектуальних систем рециклінгу, де кожен літр води використовується десятикратно, а відфільтровані відходи перетворюються на нову сировину для суміжних галузей. Це єдиний шлях перетворити шкідливе виробництво на екологічно нейтральний вузол (рис. 3.3).

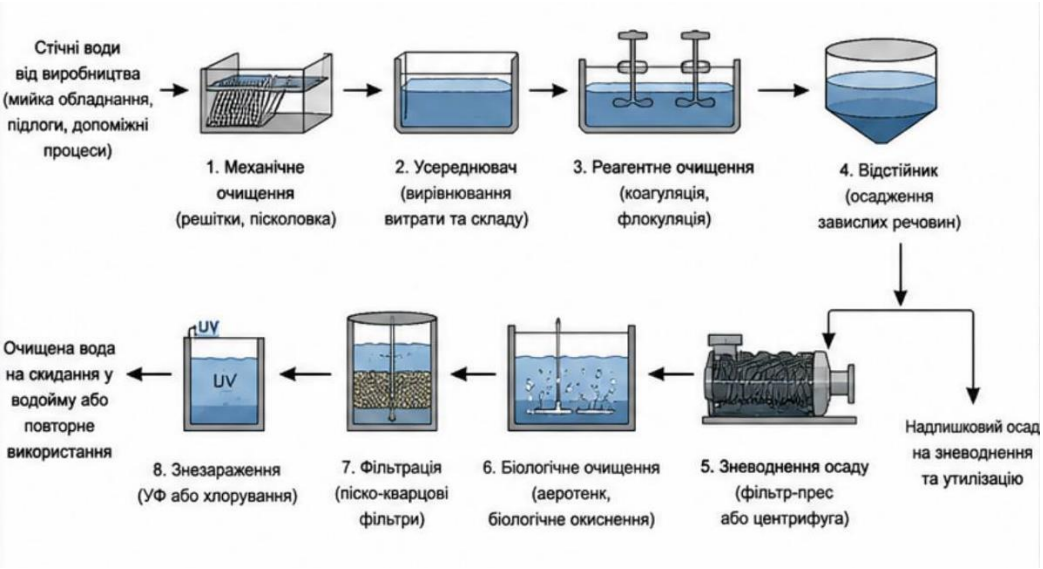


Рисунок 3.3 - Схема очищення стічних вод

3.3. Утилізація та переробка відходів ламінованих матеріалів: від глухого кута до циклічної економіки

Проблема утилізації ламінованих матеріалів тривалий час залишалася «незручною» темою для промисловості. Якщо звичайний картон або чистий

пластик - це зрозуміла сировина, то ламінат - це справжній технологічний ребус. Основна складність полягає у його природі: міцний молекулярний зв'язок між папером, фольгою та полімером робить їх практично нероздільними в умовах стандартного сортувального заводу. Раніше єдиним шляхом для таких відходів було або захоронення на полігонах, де вони лежать століттями, або спалювання, що породжує нову проблему - токсичні викиди.

Сьогодні підхід змінюється. Найпростіший, але дієвий метод переробки - це перетворення відходів ламінату на однорідну масу без розділення на компоненти. Шляхом потужного подрібнення отримують так званий «техногенний пісок» або волокнисту масу, яку використовують як наповнювач для композитних будматеріалів. Відходи виробництва ламінованої підлоги сьогодні активно додають у склад садових меблів (деревно-полімерний композит) або навіть у дорожнє покриття. Це не повертає матеріал у первинний цикл, але зупиняє його шлях до сміттєзвалища, даруючи ще 20–30 років експлуатації у новій формі.

Більш прогресивним є метод селективного розчинення. Вчені розробляють розчинники, які здатні вибірково руйнувати клейовий шар, не пошкоджуючи структуру самого полімеру чи паперу. Це схоже на те, як ми розмочуємо стару поштову марку, щоб відділити її від конверта, тільки на рівні складних промислових хімікатів.

Особливу цікавість викликає технологія *імпульсного нагріву*. Короткі високоенергетичні імпульси створюють мікродеформації на межі розділу фаз (наприклад, між алюмінієвою фольгою та плівкою), що призводить до відшарування компонентів. Отриманий алюміній можна переплавляти нескінченно, а очищений поліетилен повертати у виробництво технічної тари.

Коли розділення матеріалу коштує дорожче, ніж його створення, на сцену виходить піроліз - термічне розкладання без доступу кисню. На відміну від звичайного спалювання, піроліз дозволяє отримати синтез-газ та рідке паливо. Це перетворює відходи ламінату на джерело енергії для того ж заводу,

який їх виробив. Це закриває енергетичне коло, хоча й залишає відкритим питання вуглецевого сліду.

Справжньою революцією є розробка ламінатів, де замість нафтових плівок використовується полілактид (PLA) або міцелій грибів. Такі матеріали не потрібно переробляти у звичному розумінні - вони «програмуються» на розпад у промислових компостерах.

Уявіть упаковку для сендвіча, яку після обіду можна просто закопати в саду, де вона за кілька місяців перетвориться на добриво для квітів. Це вже не фантастика, а реальні пілотні проєкти багатьох європейських стартапів.

Головна перешкода сьогодні - не відсутність технологій, а логістика та економіка. Зібрати та очистити використаний ламінат (особливо дрібну харчову упаковку) часто дорожче, ніж виготовити новий з первинної нафти. Тому майбутнє переробки лежить у площині *«еко-дизайну»*. Виробники мають ще на етапі проектування думати про те, як цей матеріал буде розбиратися на частини.

Перехід від концепції «виробив–використав–викинув» до моделі, де відхід одного процесу стає цінною сировиною для іншого, - це єдиний шлях збереження екологічної рівноваги. Ламіновані матеріали мають перестати бути «сміттям без майбутнього», ставши натомість ресурсом, що циркулює в економіці, не завдаючи шкоди довкіллю.

3.4. Впровадження маловідходних та ресурсозберігаючих технологій

Перехід від лінійної моделі «виробив - використав - викинув» до циклічної системи у сфері ламінування - це не просто данина екологічній моді, а стратегічне виживання галузі. Основна складність тут криється в самій природі матеріалу: як зробити виробництво чистим, якщо ми свідомо створюємо продукт, який не розкладається? Відповідь лежить у площині радикального перегляду технологічних етапів та впровадження рішень, що мінімізують «сміттєвий слід» ще на етапі проєктування.

Традиційне ламінування часто супроводжується значними втратами тепла та викидами летких органічних сполук. Одним із ключових кроків до маловідходності є впровадження *замкнутих циклів рекуперації.* Сучасні установки дозволяють вловлювати розігріте повітря, що виходить із сушильних камер, і повторно спрямовувати його на підігрів нових партій матеріалу. Це дозволяє скоротити споживання енергії на 30–40%.

Більше того, системи каталітичного допалювання перетворюють токсичні випари клею на вуглекислий газ і воду, одночасно генеруючи додаткову теплову енергію. Таким чином, завод починає частково «гріти сам себе» за рахунок власних відходів, що є ідеальним прикладом ресурсозбереження.

У виробництві рулонних ламінованих матеріалів величезний відсоток сміття складає так звана «обрізка». Це чисті, дорогі матеріали, які йдуть у смітник лише тому, що ширина плівки не ідеально збігається з шириною основи.

- *Інтелектуальний розкрій:* Впровадження лазерних систем контролю з елементами штучного інтелекту дозволяє вирівнювати шари з точністю до мікрон. Це мінімізує необхідність технологічних припусків.
- *Адаптивні вали:* Замість стандартних розмірів обладнання переходять на модульні системи, які підлаштовуються під конкретне замовлення, зводячи обрізки до абсолютного мінімуму.

Навіть на самому досконалому виробництві виникає брак. Раніше ці багатошарові клапті відправлялися на полігони, оскільки розділити їх на папір і пластик дорого. Маловідходна технологія пропонує інший шлях - *механохімічну регенерацію.*

Відходи подрібнюються в кріогенних млинах (при наднизьких температурах вони стають крихкими) до стану дрібнодисперсного порошку. Цей порошок стає інертним наповнювачем для нових партій матеріалу або використовується у виробництві полімерпіщаної черепиці та дорожнього покриття. Це не повернення в цикл «ламінат у ламінат», але це повне виключення матеріалу з категорії відходів.

Ресурсозбереження стосується і хімічного складу. Впровадження технологій *Solventless (без розчинників)* дозволяє позбутися необхідності в гігантських об’ємах технічної води, яка раніше використовувалася для промивання систем та очищення викидів. Використання клеїв зі 100% сухим залишком означає, що кожна крапля закупленої сировини залишається в структурі матеріалу, а не випаровується в атмосферу.

Справжній прорив у маловідходності - це заміна нафтових полімерів на біопластики (наприклад, PLA - полімолочну кислоту, отриману з кукурудзяного крохмалю). Це кардинально змінює аналіз сировинної бази. Використання такої сировини дозволяє створювати ламінати, які після закінчення терміну служби можуть бути компостовані. Хоча зараз це дорожче за традиційні методи, державне стимулювання та податки на пластик роблять такі технології економічно привабливими для великих гравців ринку.

Ресурсозбереження - це також про логістику. Впровадження ліній ламінування безпосередньо в цехах, де виготовляється кінцевий продукт (наприклад, на заводах з розливу напоїв), усуває необхідність перевезення громіздких рулонів між підприємствами. Це економить паливо, зменшує об’єм транспортної упаковки та мінімізує ризик пошкодження матеріалу при завантаженні, що також знижує кількість потенційного браку.

Таким чином, маловідходне виробництво ламінованих матеріалів базується на трьох «китах»: *максимальна точність* (менше обрізок), *енергетична автономність* (рекуперація тепла) та *хімічна чистота* (відмова від розчинників). Такий підхід перетворює екологічні зобов'язання з тягаря на інструмент підвищення маржинальності бізнесу.

3.5. Система екологічного моніторингу виробництва: від формального звіту до цифрового «сумління» підприємства

Екологічний моніторинг на сучасному заводі з виробництва ламінованих матеріалів - це не просто папка з квитанціями про сплату екологічного податку чи результати щоквартальних замірів повітря. У 2026 році це повноцінна інтелектуальна екосистема, яка повинна працювати в режимі «тут і зараз». Якщо раніше ми дізнавалися про проблему, коли відчували запах хімії в цеху або бачили дивний осад у стічних водах, то сучасна система моніторингу має на меті передбачити аварійну ситуацію ще до її виникнення.

Ефективний моніторинг виробництва ламінату складається з трьох критичних контурів, кожен з яких закриває певну «зону ризику»:

1. *Контур атмосферної безпеки (газовий контроль).* Процеси гарячого пресування та нанесення адгезивів неминуче супроводжуються викидами летких органічних сполук (ЛОС). Система моніторингу тут базується на мережі лазерних датчиків-аналізаторів. Вони не просто фіксують концентрацію формальдегіду чи фенолу, а інтегровані з автоматикою вентиляційних систем. Якщо датчик фіксує стрибок концентрації на 5% вище норми, система автоматично посилює потужність очисних скруберів або призупиняє подачу сировини. Це перетворює моніторинг із пасивного спостерігача на активного учасника технологічного процесу.

2. *Контур аква-дистанціювання.* Ламінування зазвичай вважається «сухим» процесом порівняно з целюлозно-паперовою промисловістю, проте промивка обладнання, систем охолодження та робота клейових ванн створюють специфічні стічні води. Моніторинг тут переходить від лабораторних аналізів, які тривають годинами, до поточних фотометричних методів. Важливо відстежувати не лише рівень pH, а й наявність мікрочастинок полімерів та залишків складних ефірів, які важко відфільтрувати стандартними методами.
3. *Контур енергоаудиту та теплових втрат.* Мало хто розглядає тепловий слід як частину екологічного моніторингу, але виробництво ламінату споживає гігакалорії енергії на нагрів валів. Безперервний моніторинг енергоефективності дозволяє виявити «дірки», через які тепло просто нагріває атмосферу, змушуючи спалювати більше газу чи витрачати більше електроенергії.

Нестандартним, але вкрай ефективним інструментом стає створення «цифрового двійника» виробничої лінії. Це віртуальна модель, яка в реальному часі отримує дані з тисяч сенсорів. Вона дозволяє моделювати сценарії: що станеться, якщо ми замінимо сорт плівки на більш тонкий, але з іншим складом клею? Як це вплине на фільтраційні установки? Це дозволяє проводити «превентивний екологічний захист».

Більше того, сучасний моніторинг виходить за межі паркану заводу. Дані з датчиків на димоходах та точках скиду води все частіше публікуються у відкритому доступі або передаються через блокчейн-протоколи. Це гарантує неможливість підробки результатів. Для громади, що живе поруч із промисловою зоною, це найкращий доказ безпеки, а для бізнесу - страховка від безпідставних звинувачень.

Попри тотальну цифровізацію, система моніторингу має включати нестандартні елементи «м'якого» контролю. Наприклад, використання фіто-індикаторів на території підприємства. Певні види мохів або рослин, висаджені в санітарно-захисній зоні, реагують на мікрозміни в складі повітря

набагато чутливіше за прилади. Зміна кольору листя може стати сигналом для перевірки герметичності вузлів задовго до того, як датчик зафіксує критичну межу.

3.6. Розрахунок ефективності системи очищення газових викидів

3.6.1 Розрахунок викидів летких органічних сполук (ЛОС)

Виробництво ламінованих матеріалів супроводжується утворенням значної кількості летких органічних сполук (ЛОС), які виділяються під час нанесення клейових композицій, сушіння, гарячого пресування та термічної обробки полімерних матеріалів. Основними компонентами таких викидів є формальдегід, толуол, етилацетат, ацетон та інші органічні розчинники. При виробництві ламінованих матеріалів одним з найбільш шкідливих компонентів, що потрапляють у навколишнє середовище, є формальдегід. Ця речовина використовується у вигляді складової карбамідоформальдегідних смол, які забезпечують міцність і стабільність з'єднання шарів ламінату. Проте теплові процеси гарячого пресування супроводжуються випаровуванням формальдегіду, що негативно впливає на якість повітря в робочих приміщеннях та довкіллі.

Найбільше екологічне навантаження формується у зоні роботи ламінатора та сушильних камер, де відбувається інтенсивне випаровування залишків розчинників. Без належної системи очищення ці речовини потрапляють у повітря робочої зони та атмосферу, створюючи ризики для здоров’я працівників і населення прилеглих територій.

Для оцінки рівня техногенного навантаження виконаємо розрахунок річних викидів ЛОС від виробничої лінії ламінування.

Технологічна лінія ламінування має такі характеристики:

1. продуктивність вентиляційної системи – 15 000 м³/год;
2. середня концентрація ЛОС у відхідних газах – 320 мг/м³;

3. тривалість роботи підприємства – 16 год/добу;
4. кількість робочих днів – 300 днів/рік.

Річний фонд роботи обладнання визначається за формулою:

$$t = 16 \cdot 300 = 4800\ {}^{\text{год}}/_{\text{рік}}$$

Маса викидів визначається за формулою:

$$M = G \cdot C \cdot t \cdot 10^{-6}$$

де: M – маса викидів, т/рік;

G – витрата повітря, м³/год;

C – концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

t – час роботи обладнання, год/рік/

$$M = 15000 \cdot 320 \cdot 4800 \cdot 10^{-6} = 23040\ {}^{\text{кг}}/_{\text{рік}} = 23{,}04\ {}^{\text{т}}/_{\text{рік}}$$

Отже, без застосування систем очищення підприємство щороку викидає в атмосферу приблизно 23,04 т летких органічних сполук.

Отриманий результат свідчить про високий рівень техногенного навантаження на атмосферне повітря. Основну небезпеку становить те, що ЛОС беруть участь у фотохімічних реакціях атмосфери, сприяючи утворенню приземного озону та фотохімічного смогу. Крім того, формальдегід та ароматичні вуглеводні мають канцерогенні та мутагенні властивості.

Особливу небезпеку становлять короткочасні пікові викиди під час запуску технологічних ліній або зміни рецептури клеїв. У такі моменти концентрації ЛОС можуть значно перевищувати середні значення та створювати локальні осередки забруднення.

Для зменшення негативного впливу на довкілля на підприємстві пропонується впровадження системи регенеративного термічного окиснення (RTO), яка забезпечує високий рівень очищення відхідних газів.

3.6.2 Розрахунок ефективності системи регенеративного термічного окиснення (RTO)

Система регенеративного термічного окиснення (RTO) належить до найбільш ефективних сучасних технологій очищення газових викидів від летких органічних сполук. Її принцип дії базується на високотемпературному окисненні органічних компонентів до вуглекислого газу та водяної пари.

Основною перевагою RTO є здатність працювати в автотермічному режимі. Це означає, що теплота, яка виділяється під час окиснення органічних сполук, частково використовується повторно для підтримання температурного режиму установки. Завдяки цьому суттєво знижується споживання природного газу та загальні енерговитрати підприємства.

У даній роботі передбачається встановлення трикамерної установки RTO з керамічними теплообмінними блоками.

Для розрахунку використовуємо такі вихідні дані:

1. концентрація ЛОС до очищення – 320 мг/м³;
2. концентрація після очищення – 3,2 мг/м³.

Ефективність очищення визначається за формулою:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%$$

де: η - ефективність очищення, %;

C_1 - концентрація до очищення, мг/м³;

C_2 - концентрація після очищення, мг/м³.

Підставляємо значення:

$$\eta = \frac{320 - 3{,}2}{320} \cdot 100 = 99\%$$

Отже, ефективність очищення газових викидів системою RTO становить 99 %.

Після встановлення установки маса викидів становитиме:

$$M = 23.04 \cdot (1 - 0.99) = 0.2304\ {}^{\text{т}}/_{\text{рік}}$$

Таким чином, після впровадження системи RTO річні викиди ЛОС зменшуються з 23,04 т/рік до 0,23 т/рік.

Скорочення викидів:

$$\Delta M = 23.04 - 0.23 = 22.81\ ^{\text{т}}/_{\text{рік}}$$

Отримані результати свідчать про надзвичайно високу екологічну ефективність запропонованого технічного рішення.

Впровадження RTO дозволяє:

- практично повністю усунути викиди токсичних органічних речовин;
- зменшити концентрацію формальдегіду та толуолу в повітрі робочої зони;
- знизити ризик утворення фотохімічного смогу;
- покращити санітарно-гігієнічні умови праці;
- забезпечити відповідність європейським екологічним вимогам.

Крім екологічного ефекту, система RTO забезпечує енергетичну рекуперацію. Частина теплової енергії може бути повторно використана для підігріву сушильних камер ламінатора.

3.6.3 Розрахунок утворення виробничих відходів

Виробництво ламінованих матеріалів супроводжується утворенням значної кількості твердих відходів, до яких належать:

- обрізки ламінованої плівки;
- браковані рулони;
- полімерний пил;
- використані фільтри;
- залишки клеїв;
- забруднене пакування.

Основною проблемою таких відходів є їх багатокомпонентна структура.

Поєднання полімерів, паперу, фольги та клеїв ускладнює процес вторинної переробки та робить захоронення на полігонах небажаним.

Для оцінки рівня утворення відходів виконаємо відповідний розрахунок. Для цього скористаємося такими даними:

1. річний обсяг продукції – 5000 т/рік;
2. питомий коефіцієнт утворення відходів – 0,045.

Розрахунок виконується за формулою:

$$W = Q \cdot k$$

де: W - кількість відходів, т/рік;

Q - річний обсяг продукції, т/рік;

K - питомий коефіцієнт утворення відходів.

Підставивши відповідні значення отримаємо:

$$W = 5000 \cdot 0.045 = 225\ {}^{\text{т}}/_{\text{рік}}$$

Отже, річний обсяг утворення твердих виробничих відходів становить 225 т/рік.

Структура відходів має приблизно такий вигляд:

- обрізки полімерної плівки – 40 %;
- браковані ламіновані матеріали – 35 %;
- пил та шліфувальні залишки – 15 %;
- використані фільтри та адсорбенти – 10 %.

Значна частина цих відходів може бути частково перероблена після сортування та подрібнення.

Для зменшення обсягів захоронення рекомендується:

- впровадження системи внутрішнього сортування;
- повторне використання обрізків;
- застосування технологій піролізу;
- використання вторинних полімерів;
- впровадження принципів циркулярної економіки.

Особливо перспективним напрямком є використання піролізних установок для термічного розкладання полімерних відходів з отриманням синтетичного палива.

3.6.4 Розрахунок утворення стічних вод

У процесі виробництва ламінованих матеріалів вода використовується для охолодження валів та екструдерів, промивання обладнання, очищення систем подачі клею та технологічних потреб.

Стічні води містять залишки клеїв, фенольні сполуки, формальдегід, синтетичні полімери та поверхнево-активні речовини.

Основну небезпеку становить токсичний вплив цих речовин на водні екосистеми.

Для розрахунку беремо такі вихідні дані:

1. норма водоспоживання – 1,8 м³/т продукції;
2. річний обсяг продукції – 5000 т/рік.

Обсяг стічних вод визначається за формулою:

$$Q_{\text{ст}} = q \cdot N$$

де: $Q_{\text{ст}}$ - обсяг стічних вод, м³/рік;

q – норма водоспоживання, м³/т;

N – обсяг продукції, т/рік.

$$Q_{\text{ст}} = 1.8 \cdot 5000 = 9000\ {}^{\text{м}^3}/_{\text{рік}}$$

Отже, підприємство утворює близько 9000 м³ стічних вод на рік.

Для очищення стічних вод рекомендується багатоступенева система, яка включає:

- Механічне очищення.
- Флотацію.
- Сорбційне очищення.
- Біологічне очищення.

– Ультрафільтрацію.

Запропонована система дозволяє знизити ХСК, видалити мікропластик, зменшити концентрацію фенолів, а також забезпечити повторне використання технічної води.

Особливо важливим є перехід до замкненого циклу водокористування, що дозволяє суттєво знизити споживання природних водних ресурсів.

3.6.5 Оцінка екологічного ефекту від впровадження природоохоронних заходів

Комплексне впровадження сучасних природоохоронних технологій дозволяє значно знизити рівень техногенного навантаження підприємства на компоненти довкілля.

Основні результати впровадження:

– скорочення викидів ЛОС на 22,81 т/рік;
– зменшення токсичного впливу на атмосферне повітря;
– покращення умов праці персоналу;
– зниження ризику професійних захворювань;
– скорочення обсягів відходів;
– підвищення рівня ресурсоефективності.

Крім екологічного ефекту, впровадження систем очищення дозволяє уникнути штрафних санкцій за перевищення нормативів викидів та підвищує конкурентоспроможність підприємства.

В умовах гармонізації українського законодавства з вимогами ЄС екологічна модернізація виробництва стає не лише природоохоронним, а й економічно необхідним рішенням.

Отже, результати проведених розрахунків підтверджують доцільність впровадження сучасних технологій очищення викидів та стічних вод у виробництві ламінованих матеріалів. Запропоновані заходи забезпечують

значне зниження негативного впливу підприємства на атмосферне повітря, водні ресурси та літосферу, а також сприяють переходу галузі до принципів сталого розвитку та циркулярної економіки.

Висновок до 3 розділу

У третьому розділі ми перейшли від констатації проблем до пошуку реальних інженерних та управлінських рішень, які дозволяють зробити виробництво ламінатів менш агресивним для природи. Головний акцент було зроблено на тому, що захист довкілля сьогодні - це не просто встановлення фільтрів «на кінці труби», а повна ревізія того, як ми використовуємо ресурси на кожному етапі.

Розглянуті технології очищення газів, зокрема системи термічного допалювання, доводять, що навіть найбільш леткі та токсичні розчинники можна приборкати, перетворюючи їх на безпечну енергію для підігріву тих самих сушильних камер. Це закриває цикл і знімає питання «хімічного запаху» навколо промислових майданчиків. Щодо води, то ми з’ясували: найрозумніший підхід - це не очищення стоків до ідеального стану для скиду в каналізацію, а створення замкнених контурів, де одна й та сама вода циркулює роками, охолоджуючи вали ламінаторів без зайвих втрат.

Найскладнішим, але найбільш перспективним напрямом виявилася робота з відходами. Оскільки розділити «склеєні» шари плівок фізично майже неможливо, ми обґрунтували перехід до ідеї енергетичного відновлення або створення таких композитів, де всі шари належать до однієї родини полімерів (наприклад, тільки поліетилен). Це перетворює «сміття, що не розкладається» на повноцінну сировину для нових технічних виробів.

Впровадження систем моніторингу, про які йшлося у фіналі розділу, дає підприємству «очі». Тепер контроль за станом повітря чи води стає не формальним звітом для перевіряючих органів, а інструментом оперативного управління: якщо датчик фіксує стрибок викидів, інженер може миттєво відкоригувати роботу лінії, не чекаючи аварійної ситуації.

Таким чином, запропонований комплекс заходів переводить виробництво з режиму «споживання та забруднення» у формат екологічно відповідального бізнесу. Це не лише мінімізує штрафи, а й формує новий технологічний уклад, де економія ресурсів і чистота довкілля є двома сторонами однієї медалі. Виконані розрахунки підтверджують, що такий перехід є технічно реальним і економічно виправданим у довгостроковій перспективі.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Виробництво ламінованих матеріалів - це складний, багатоступеневий інженерний процес, де висока продуктивність досягається за рахунок інтенсивного використання хімічних речовин, термічної обробки та високошвидкісного механічного обладнання. Таке поєднання створює специфічне виробниче середовище, яке закономірно насичене факторами, що загрожують здоров'ю та життю персоналу. Створення безпечних умов праці на такому підприємстві неможливе без глибокого, деталізованого аналізу цих факторів. Ми не можемо розглядати безпеку як набір формальних інструкцій; це має бути динамічна система, заснована на розумінні фізики та хімії процесів, що відбуваються в цеху.

Принциповим моментом є чітке розмежування між *шкідливими* та *небезпечними* виробничими факторами. Якщо небезпечний фактор - це тригер миттєвої травми (як от незахищений вал преса), то шкідливий фактор працює як повільна отрута, ефект якої накопичується роками (наприклад, постійне вдихання мікродоз формальдегіду). Ігнорування будь-якого з цих видів загрози є неприпустимим, оскільки наслідки - від інвалідизації до хронічних професійних захворювань - є однаково важкими.

Для структурування аналізу доцільно використати класифікацію, яка базується на природі походження факторів: хімічні, фізичні, механічні, психофізіологічні та окремо - фактори, що визначають пожежовибухонебезпеку.

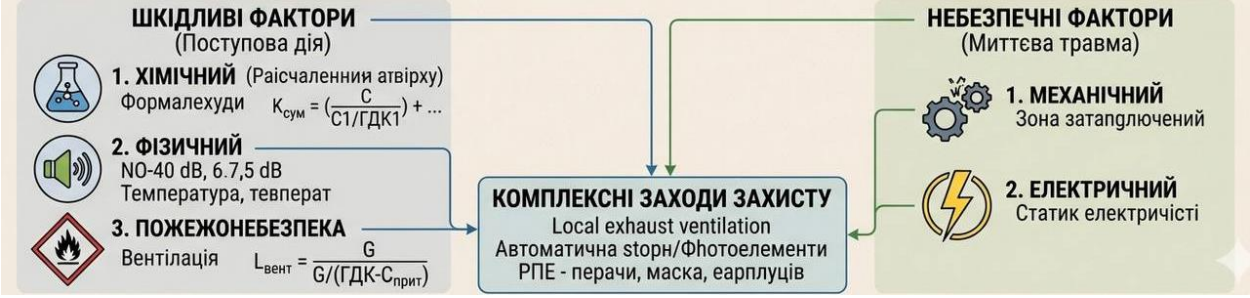


Рисунок 4.1 - Фактори, що впливають на безпеку

4.1.1. Хімічний фактор: прихована загроза повітряного середовища

Хімічний фактор є, мабуть, найбільш підступним та специфічним для даної галузі. Повітря робочої зони в цехах з виробництва ламінату (особливо на етапах просочування основи, нанесення клею та гарячого пресування) постійно містить коктейль з летких органічних сполук (ЛОС). Їхня концентрація залежить від типу використовуваних смол (карбамідоформальдегідних, меламіноформальдегідних, фенолформальдегідних) та адгезивів (поліуретанових, епоксидних тощо).

1. Формальдегід і фенол - це "класичні" забруднювачі для ламінувального виробництва.

- *Формальдегід (HCHO)* - безбарвний газ із різким запахом. Він виділяється при твердінні карбамідних та меламінових смол під дією високої температури в пресі. Це речовина II класу небезпеки (високонебезпечна), яка офіційно визнана канцерогеном для людини. Окрім ризику онкології, він є сильним алергеном, подразнює слизові оболонки очей та дихальних шляхів, викликає дерматити. Підступність формальдегіду в тому, що він виділяється не лише під час пресування, а й продовжує емітувати з готової продукції (навіть плити класу Е1), якщо вона зберігається на складі з недостатньою вентиляцією.
- *Фенол (C6H5OH)* - використовується у фенольних смолах (частіше для технічних ламінатів або водостійкої фанери). Він токсичніший за формальдегід, є нервовою отрутою, яка всмоктується навіть через

неушкоджену шкіру. При хронічному впливі вражає печінку, нирки та нервову систему.

2. Леткі органічні розчинники (ЛОС) - використовуються для розведення клеїв, очищення обладнання та в процесах мокрого ламінування.

- *Толуол, ксилол* - *ц*і ароматичні вуглеводні є невід'ємною частиною багатьох поліуретанових та епоксидних систем. Вони мають наркотичний ефект, викликають запаморочення, головний біль, а при тривалому впливі - порушення кровотворення та ураження нервової системи.
- *Ацетон, етилацетат* - *в*икористовуються як легколеткі розчинники для чищення валів та інструментів. Мають сильну подразнюючу дію на легені, викликають сонливість, а їхня висока леткість створює миттєву загрозу утворення вибухонебезпечних концентрацій у повітрі.

3. Дрібнодисперсний пил - *ц*е механічний забруднювач з хімічним підтекстом. Пил виникає при обрізці, шліфуванні та фрезеруванні ламінованих плит. Цей пил не є інертним. Він складається з мікрочастинок деревини, твердого полімеру (меламіну, акрилу) та залишків нестверділих смол. Вдихання такого пилу викликає не лише механічне пошкодження легенів (силікоз, хоча і специфічний), а й хімічну інтоксикацію через розчинення компонентів смол у рідинах організму. Особливо небезпечним є пил від шліфування, оскільки його частинки настільки малі, що не затримуються верхніми дихальними шляхами і проникають глибоко в альвеоли.

Для оцінки реального впливу хімічного фактора не можна обмежитися вимірюванням концентрації лише однієї речовини. Потрібно враховувати ефект сумації. У цеху ламінування ми завжди маємо справу з комбінованою дією.

Оцінка сумарного хімічного навантаження (К_сум) проводиться за формулою:

$$\text{Ксум} = \frac{\boldsymbol{C_1}}{\text{ГДК}_\mathbf{1}} + \frac{\text{C}_\mathbf{2}}{\text{ГДК}_2} + \cdots + \frac{\text{C}_\boldsymbol{n}}{\text{ГДК}_\boldsymbol{n}}$$

Де:

- C1, C2... - фактична концентрація кожної речовини в повітрі робочої зони, виміряна під час моніторингу (мг/м3);
- ГДК1, ГДК2... - встановлена законодавством гранично допустима концентрація для цієї речовини в повітрі робочої зони (мг/м3).

Якщо Ксум > 1, то умови праці за хімічним фактором вважаються шкідливими, навіть якщо koncentrація кожної окремої речовини не перевищує її власне ГДК. Це фундаментальний принцип захисту, який часто ігнорується на практиці.

Нижче наведено таблицю з ГДК для основних забруднювачів ламінувального виробництва (згідно з чинними санітарними нормами України).

Таблиця 4.1. Гранично допустимі концентрації (ГДК) основних шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Речовина	*Клас небезпеки*	*ГДК макс.разова, мг/м3*	*ГДК сер.змінна, мг/м3*	*Переважаючий ефект впливу*
Формальдегід	II	0.5	0.1	Канцероген, алерген, подразнювач
Фенол	II	0.1	0.3 (для парів)	Аллерген, нейротоксикант
Толуол	III	50.0	150.0	Нейротоксикант, наркотичний ефект
Ксилол (суміш ізомерів)	III	50.0	150.0	Нейротоксикант, подразнювач
Ацетон	IV	200.0	800.0	Подразнювач, наркотичний ефект
Пил деревно-стружкових плит	III	4.0	-	Фіброгенний, алергенний

4.1.2. Фізичні фактори: шум, вібрація та мікроклімат

Фізичні фактори є невід'ємним супутником роботи важкого машинобудування. У ламінуванні вони набувають специфічних рис через конвеєрний характер виробництва.

*1. Виробничий шум***.** Це, мабуть, найбільш масовий шкідливий фактор. Його джерелами є:

- *Механічний шум:* робота редукторів, ланцюгових передач, підшипників, пресів. Це постійний, широкосмуговий шум.
- *Аеродинамічний шум:* рух повітря у системах місцевої витяжної вентиляції (аспірації), робота потужних вентиляторів та компресорів. Цей шум часто має високочастотний характер, який є найбільш виснажливим для людського вуха.
- *Шум від обробки***:** робота циркулярних пилок та фрезерних верстатів при обрізці кромки готових плит. Це непостійний, імпульсний шум, рівень якого може миттєво досягати 100-110 дБА.

Постійна дія шуму з рівнем понад 85 дБА призводить до професійної туговухості. Однак, ефект шуму не обмежується лише слухом. Він є потужним стресором, який викликає зміни в роботі серцево-судинної та нервової систем, підвищує втомлюваність, знижує увагу та, як наслідок, збільшує ризик травматизму через помилки персоналу.

2. Виробнича вібрація.

Вона поділяється на:

- *Загальна вібрація:* передається через підлогу або платформу, на якій стоїть оператор, від масивного обладнання (наприклад, гідравлічних станцій пресів). Постійна загальна вібрація вражає опорно-руховий апарат, викликає захворювання хребта та порушення роботи внутрішніх органів (вібраційна хвороба загального типу).
- *Локальна вібрація:* передається на руки працівників, які використовують ручний віброінструмент (шліфувальні машинки, пневмоінструмент). Це

основна причина вібраційної хвороби рук, яка проявляється порушенням кровообігу ("білі пальці"), втратою чутливості та болями в суглобах.

3. Мікроклімат робочої зони. Ламінування - це гарячий процес. У пресах використовуються температури 150-200 градусів С. Гідравлічні преси, сушильні камери та лінії гарячого каширування є потужними джерелами явного тепла (теплового випромінювання).

- Надлишкове тепло**:** Температура повітря біля преса може сягати 30-35 градусів С, навіть при працюючій вентиляції. Постійне перебування в таких умовах викликає перегрів організму, порушення водно-сольового балансу, навантаження на серце та зниження працездатності.
- *Вологість повітря:* Може бути підвищеною в цехах, де використовуються водно-дисперсійні клеї. Висока температура в поєднанні з високою вологістю різко ускладнює терморегуляцію організму (випаровування поту стає неефективним).

Таблиця 4.2. Характеристика основних фізичних факторів на робочих місцях

Робоче місце / Дільниця	*Фактор*	*Джерело*	*Фактичний рівень (орієнтовний)*	*Нормативний рівень (допустимий)*
Увесь цех	Шум (еквівалентний рівень)	Компресори, вентиляція, приводи конвеєрів	85-92 дБА	80 дБА
Біля преса	Теплове випромінювання	Нагріті плити преса, гідропривід	150-300 Вт/м2	< 35 Вт/м2
Біля преса	Температура повітря (теплий період)	Гарячий процес, обладнання	28-34 град. С	< 28 град. С (оптимально)
Оператор пилок	Шум (максимальний рівень)	Процес різання ламінату	95-105 дБА	80 дБА

Шліфувальник	Локальна вібрація (еквів. рівень)	Ручна шліфмашинка	115-125 дБ (L_v)	112 дБ (L_v)

4. Освітленість. Ламінування вимагає постійного візуального контролю якості: відсутності пузирів, зморшок, включень пилу. Недостатня або нерівномірна освітленість викликає зорову втому (астенопію), знижує концентрацію та сприяє помилкам, які можуть призвести до браку або травм. Особливо небезпечним є стробоскопічний ефект від люмінесцентних ламп старого типу, який може створювати ілюзію нерухомості валів, що обертаються.

4.1.3. Механічні небезпеки та рухомі частини

Це категорія *небезпечних* факторів, які безпосередньо загрожують травматизмом. Ламінувальна лінія - це царство валів, пресів та конвеєрів.

1. Зони затягування (Nip points). Це найбільш критична небезпека. Скрізь, де два вали обертаються назустріч один одному (наприклад, на дільниці нанесення клею або каландрування), або де гнучка стрічка набігає на шків (конвеєр), створюється зона затягування. Потрапляння туди руки оператора, одягу або волосся призводить до миттєвих важких травм (розтрощення, ампутації). Навіть якщо вали обертаються повільно, їхня сила затягування є колосальною.

2. Рухомі елементи обладнання. Конвеєрні стрічки, ланцюгові передачі, відкриті шківи та вали, що обертаються з великою швидкістю, є джерелами ризику зачеплення одягу або кінцівок.

3. Зони пресування. Гідравлічні преси працюють під тиском у сотні атмосфер. Потрапляння будь-якої частини тіла під плиту преса під час його закриття означає гарантовану загибель або найважчу інвалідизацію.

4. Ріжучі інструменти. Циркулярні пилки та фрези для обрізки кромки є джерелом ризику глибоких порізів. Окрім того, існує ризик вильоту осколків

пилки або твердих частинок матеріалу в очі оператора, якщо захисні кожухи відсутні або несправні.

5. Небезпека від падіння вантажів. Робота на складі готової продукції або сировини (плит МДФ, рулонів плівки) пов'язана з використанням навантажувачів. Ризик перекидання штабелів плит, падіння рулонів плівки з полиць або наїзду навантажувача на пішохода є постійним.

4.1.4. Фактори пожежної безпеки та вибухонебезпеки

Виробництво ламінату за замовчуванням відноситься до категорії підвищеної пожежної небезпеки (категорії Б або В згідно з класифікацією). Це обумовлено природою використовуваних матеріалів.

1. Пальні матеріали:

- *Основа:* Деревно-стружкові або деревно-волокнисті плити є твердими горючими матеріалами. Їхній пил при накопиченні утворює вибухонебезпечні пилоповітряні суміші.
- *Оздоблення:* Декоративні плівки на основі паперу, ПВХ, акрилу є горючими, а деякі (ПВХ) при горінні виділяють високотоксичні гази (діоксини, хлороводень).
- *Хімія:* Майже всі розчинники (ацетон, толуол) є легкозаймистими рідинами (ЛЗР) з низькою температурою спалаху.

2. Джерела запалювання:

- *Відкритий вогонь:* проведення вогневих робіт (зварювання) без належної підготовки.
- *Електрична іскра:* несправність електропроводки, перевантаження мережі, іскріння щіток електродвигунів.
- *Механічна іскра:* виникає при терті металевих частин, ударі інструменту або при терті пильного диска об матеріал.

- *Гарячі поверхні:* Температури преса (200 градусів С) достатньо для самозаймання деревної пилу, якщо вона накопичується на гарячих вузлах.

3. Статична електрика. Це специфічна і дуже небезпечна проблема при ламінуванні. При розмотуванні рулонів полімерної плівки з великою швидкістю, через тертя об вали, на її поверхні накопичується колосальний статичний заряд (напруга може сягати десятків кіловольт). Якщо цей заряд не відводиться, може відбутися іскровий розряд. У цеху, де в повітрі присутні пари ЛЗР (наприклад, ацетону), така іскра є гарантованим джерелом вибуху або пожежі. Електростатичний розряд є також фактором "електричного шоку" для оператора, що може викликати переляк та рефлекторний рух кінцівки у небезпечну зону.

Психофізіологічні та ергономічні фактори

Це фактори, які часто ігноруються, але вони визначають загальний рівень безпеки та здоров'я персоналу на довгій дистанції. Вони пов'язані з тим, *як саме* людина виконує свою роботу.

1. Важкість праці. Більшість операцій на ламінувальній лінії є автоматизованими, але деякі роботи вимагають значного фізичного напруження:

- *Ручне переміщення вантажів: завантаження рулонів плівки на* розмотувальні вали, переміщення стопок плит при збоях автоматики.
- *Вимушена робоча поза:* тривале перебування в положенні стоячи (робота біля преса) або в незручному положенні під час обслуговування внутрішніх вузлів обладнання. Це призводить до варикозного розширення вен, захворювань опорно-рухового апарату (радикуліти, остеохондроз).
- *Робота м'язів рук:* постійні одноманітні рухи при контролі якості, ручному нанесенні клею (на дільницях ремонту). Ризик розвитку тунельного синдрому зап'ястя.

2. Напруженість праці. Це нервово-психічне навантаження.

- *Темп роботи:* Робота на конвеєрі вимагає постійної, швидкої реакції. Оператор повинен стежити за десятками параметрів одночасно. Високий темп викликає емоційне вигорання та підвищує ймовірність помилок ("людський фактор").
- *Монотонність:* Робота оператора часто є одноманітною (спостереження за процесом). Монотонність знижує пильність, викликає сонливість, що в умовах небезпечного обладнання є критичним фактором ризику.
- *Сімнний графік роботи:* Робота в нічні зміни порушує біоритми організму, що призводить до хронічної втоми, порушень сну та зниження імунітету.

Для оцінки рівня психофізіологічного навантаження використовуються методики, що враховують кількість об'єктів спостереження, тривалість зосередженого нагляду та кількість повторюваних операцій за зміну. Наприклад, напруженість праці оператора преса часто оцінюється як "напружена" (3 клас 1-2 ступеня) через необхідність швидкого прийняття рішень при аварійних ситуаціях.

4.1.5. Особливості роботи в надзвичайних ситуаціях (НС)

Аналіз буде неповним без розгляду фактора ризику при виникненні НС. На ламінувальному виробництві найбільш імовірними є такі сценарії:

*1. Пожежа або вибух***.** Це найбільш критична НС.

- Джерело: розлив ЛЗР, коротке замикання в системі нагріву, вибух пилу в системі аспірації.
- Фактор ризику для персоналу: дія відкритого вогню, високих температур, сильне задимлення та виділення токсичних продуктів горіння (особливо при горінні ПВХ або фенольних смол). Небезпека паніки та тисняви під час евакуації через захаращеність проходів сировиною.

2. Аварійна зупинка обладнання.

- Джерело: відключення електроенергії, поломка гідросистеми преса.
- Фактор ризику: застрягання гарячих плит у пресі, що може призвести до їхнього самозайманння; необхідність ручного втручання персоналу для евакуації продукції з небезпечної зони, що часто робиться з порушенням правил безпеки ("швидше, щоб не втратити продукцію").

3. Витік хімічних речовин.

- Джерело: розгерметизація трубопроводів подачі клею або розчинника, перекидання бочки з розчинником на складі.
- Фактор ризику: миттєве підвищення концентрації токсичних парів у повітрі (ризик гострого отруєння), загроза пожежі та хімічних опіків при попаданні на шкіру.

4. Аварії на комунальних мережах.

- Джерело: прорив трубопроводу гарячої води системи нагріву.
- Фактор ризику: небезпека термічних опіків парою або гарячою водою, ризик ураження струмом через намокання електрообладнання.
-

4.1.6. Системний погляд на безпеку

Глибокий аналіз небезпечних і шкідливих факторів дозволяє нам зрозуміти, що безпека на ламінувальному виробництві - це не питання наявності респіратора або захисних окулярів. Це питання інженерного проектування та культури виробництва.

Не можна захистити працівника від формальдегіду, лише видавши йому маску, якщо в цеху немає потужної місцевої та загальнообмінної вентиляції. Не можна захистити оператора від валів, якщо на них немає фізичних загороджень або фотоелементів, які автоматично зупиняють прес. Будь-яка система безпеки повинна базуватися на ієрархії заходів контролю:

1. *Усунення небезпеки:* (наприклад, заміна формальдегідних смол на смоли на основі біополімерів - найбільш ефективний, але і найдорожчий шлях).

2. *Інженерний контроль:* (встановлення загороджень, вентиляції, іонізаторів - найбільш реалістичний та дієвий шлях).
3. *Адміністративний контроль: (*інструктажі, режим праці, ротація персоналу).
4. *Засоби індивідуального захисту:* (останній рубіж захисту, коли всі попередні методи виявилися недостатніми).

Таким чином, розроблений аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів є фундаментальною базою для розробки комплексної системи охорони праці на підприємстві. Він дозволяє перейти від реактивного підходу (лікування наслідків) до проактивного (попередження причин) і забезпечити сталий розвиток виробництва в умовах жорстких екологічних та соціальних стандартів.

4.2. Заходи з охорони праці на виробництві

Забезпечення безпечних умов праці на підприємствах із виробництва ламінованих матеріалів не може обмежуватися лише формальним проведенням інструктажів. Це комплексна, багаторівнева система, яка інтегрується безпосередньо у технологічний процес. Специфіка ламінування, як було проаналізовано у попередньому розділі, поєднує в собі хімічну небезпеку (токсичні пари, пил), фізичні загрози (висока температура валів, шум, рухомі механізми) та значний ризик пожеж. Тому заходи з охорони праці повинні мати превентивний характер, спрямований на усунення ризику ще до моменту його виникнення.

У цьому розділі розглядаються інженерно-технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи, що впроваджуються для створення безпечного робочого середовища, а також розрахункові методики оцінки ефективності засобів захисту.

4.2.1. Інженерно-технічні методи колективного захисту

Це фундамент безпеки. Якщо обладнання спроектовано неправильно, жодні засоби індивідуального захисту не гарантують повної безпеки

працівника. Технічні заходи спрямовані на ізоляцію небезпечного фактора від людини або на автоматичне припинення небезпечної дії у разі виникнення позаштатної ситуації.

Ізоляція рухомих механізмів та зон защемлення

Ламінувальні лінії характеризуються наявністю великої кількості валів, що обертаються. Найкритичнішою зоною є так званий «ніп» (зона контакту двох валів), куди подається матеріал.

1. *Фізичні огородження:* Усі приводи, ланцюгові та ремінні передачі повинні бути закриті суцільними або сітчастими металевими кожухами. Це запобігає випадковому потраплянню одягу або частин тіла в механізм.
2. *Світлові бар'єри (фотоелементи):* Це сучасний стандарт безпеки. На вході в зону ламінування встановлюються оптичні датчики. Якщо працівник перетинає невидимий промінь рукою під час роботи машини, система миттєво подає сигнал на екстренну зупинку та спрацьовування механічного гальма. Це критично важливо, оскільки час реакції людини (близько 0,2-0,5 с) є занадто довгим для запобігання травмі при затягуванні.
3. *Пристрої для запобігання затягуванню:* Спеціальні похилі площини або роликові напрямні, які встановлюються безпосередньо перед зоною контакту валів, щоб спрямовувати матеріал, але фізично не допускати пальці працівника до небезпечної зони.

Забезпечення нормованого мікроклімату та чистоти повітря

Як було зазначено, виділення летких органічних сполук (ЛОС) є головною санітарною проблемою. Проектування вентиляції на ламінувальному виробництві вимагає особливого підходу.

1. *Локальна витяжна вентиляція:* Вона є набагато ефективнішою, ніж загальнообмінна, оскільки вловлює забруднювачі безпосередньо біля джерела їх утворення.

- *Парасолі над вузлами нанесення клею:* Мають бути спроектовані так, щоб потік повітря не проходив через зону дихання оператора.
- *Вбудовані відсоси на шліфувальних верстатах***:** Для негайного видалення полімерного та деревного пилу.

2. *Загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла:* Забезпечує необхідний кратність повітрообміну в усьому цеху. Використання рекуператорів дозволяє підігрівати припливне повітря за рахунок тепла відпрацьованого повітря з сушильних камер, що покращує економічні показники.

Для перевірки достатності повітрообміну (Lвент) при виділенні парів розчинників використовується методика, заснована на розбавленні шкідливості до ГДК. Формула для розрахунку необхідного об'єму припливного повітря (м3/год):

$$L_{\text{вент}} = \frac{G}{(\text{ГДК} - \text{С}_{\text{прит}})}$$

де: G - кількість шкідливих парів, що виділяються (г/год). Визначається за формулою: $G = A \times S_{\text{пит}} \times (1 - k)$, де A - площа нанесення ($\frac{\text{м}_2}{\text{год}}$), $S_{\text{пит}}$ - питома витрата розчинника ($\frac{\text{г}}{\text{м}^2}$), k - коефіцієнт рекуперації (якщо є система вловлювання).

ГДК - гранично допустима концентрація речовини (мг/м3), наприклад, для толуолу - 50 мг/м3, для формальдегіду - 0,5 мг/м3.

$\text{С}_{\text{прит}}$ - концентрація шкідливої речовини у припливному повітрі (мг/м3).

Приймається рівною 0,3 від ГДК для чистих районів.

Таблиця 4.2. Вимоги до швидкості руху повітря у локальних відсосах

Джерело виділення шкідливості	*Тип локального відсосу*	*Мінімальна швидкість повітря, м/с*
Вузол нанесення клею (з розчинником)	Парасоль, бічний відсос	0,7 - 1,0

Сушильний тунель (на вході/виході)	Щілинний відсос	1,2 - 1,5
Верстат для обрізки кромки (пил)	Задній/вбудований відсос	2,5 - 4,0
Прес гарячого пресування	Верхній купол	0,5 - 0,7

Захист від шуму та теплового випромінювання

1. *Звукоізоляція джерел:* Потужні компресори, вентилятори та дробарки для відходів повинні розміщуватися в окремих шумоізольованих приміщеннях або закриватися звукопоглинальними кожухами.
2. *Віброізоляція:* Обладнання з дисбалансом мас (преси) встановлюється на віброгасні фундаменти або пружинні ізолятори.
3. *Теплоізоляція поверхонь:* Нагріті вали, паропроводи та сушильні камери повинні мати теплоізоляційне покриття, щоб температура зовнішньої поверхні не перевищувала 45 град. С.
4. *Екранування робочих місць***:** Використання тепловідбивних екранів для операторів, які змушені перебувати поблизу пресів.

Протипожежний та вибухозахист

Оскільки ламінування часто включає використання горючих розчинників, заходи захисту мають бути максимальними.

1. *Встановлення газоаналізаторів:* Автоматичні системи безперервного контролю концентрації довибухових рівнів газів у повітрі (ДВР). При досягненні 20% від ДВР повинна спрацьовувати світлозвукова сигналізація, а при 50% - автоматично вимикатися технологічне обладнання та вмикатися аварійна вентиляція.
2. *Використання іскробезпечного інструменту***:** У зонах класу А та Б (де є пари розчинників) заборонено використання сталевих інструментів, що можуть дати іскру при ударі.

3. *Встановлення автоматичних систем пожежогасіння:* Спринклерні або дренчерні системи, а також системи вуглекислотного гасіння безпосередньо всередині сушильних тунелів.
4. *Вогнезатримувальні клапани:* Встановлюються у вентиляційних каналах, щоб запобігти поширенню вогню з одного приміщення в інше.

Заходи захисту від статичної електрики

Плівки (PP, PE, PET) при розмотуванні є потужними генераторами статичної електрики. Напруга може сягати 20-30 кВ, що створює ризик іскроутворення та пожежі.

1. *Заземлення всіх металевих частин***:** Обладнання, станини розмотувачів, трубопроводи для клею повинні бути надійно заземлені.
2. *Встановлення нейтралізаторів статичної електрики:*
    - *Іонізатори повітря:* Створюють потік позитивних та негативних іонів, які нейтралізують заряд на поверхні плівки.
    - *Заземлені щітки або струни:* Розміщуються безпосередньо над рухомою плівкою.
3. *Збільшення вологості повітря:* Підтримання відносної вологості в цеху на рівні 65-70% сприяє стіканню статичного заряду.

4.2.2. Організаційні заходи та культура безпеки

Навіть найдосконаліша техніка не врятує, якщо працівник не навчений нею користуватися або свідомо ігнорує правила безпеки. Організаційні заходи спрямовані на регламентацію дій персоналу.

Система навчання та перевірки знань

1. *Вступний інструктаж: Для* всіх новоприбулих працівників.
2. *Первинний інструктаж на робочому місці:* Проводиться безпосередньо майстром перед початком роботи, з демонстрацією небезпечних зон.
3. *Повторні інструктажі:* Не рідше одного разу на 3 місяці для робіт з підвищеною небезпекою (яким є ламінування).

4. *Навчання за професіями:* Спеціалізовані курси для операторів ламінаторів, водіїв навантажувачів, стропальників.
5. *Щорічна перевірка знань:* Створення комісії з охорони праці для приймання іспитів у працівників.

Організація робочого простору та ергономіка

1. *Раціональне планування:* Ширина проходів та проїздів має відповідати нормам, щоб уникнути наїздів навантажувачів на людей. Розміщення сировини (рулонів плівки) та готової продукції не повинно захаращувати евакуаційні шляхи.
2. *Ергономіка робочого місця:* Висота завантаження рулонів плівки та знімання готових панелей має бути оптимізована, щоб мінімізувати підняття важких речей вручну. Використання вакуумних підйомників для великих плит HDF/MDF.
3. *Режим праці та відпочинку***:** У зв'язку з високим шумовим та тепловим навантаженням, необхідно передбачити регламентовані перерви (по 10-15 хвилин кожні 2 години) для відпочинку в кімнатах із нормальним мікрокліматом.
4. *Маркування небезпечних зон:* Нанесення жовто-чорних смуг на підлогу в зонах руху транспорту та біля небезпечних механізмів. Вивішування знаків безпеки (заборонних, попереджувальних, наказових).

Таблиця 4.3. Перелік обов'язкових знаків безпеки на дільниці ламінування

Вид знаку	*Зображення (символ)*	*Значення (напис)*	*Розміщення*
Заборонний	Перекреслена сигарета	Куріння заборонено	На вході, біля клеєприготування
Попереджувальний	Трикутник з блискавкою	Обережно! Статична електрика	Біля вузлів розмотування плівки
Попереджувальний	Трикутник з валами	Обережно! Зона затягування	Безпосередньо біля валів ламінатора
Наказовий	Синій круг з респіратором	Працювати в засобах	У зоні нанесення клею та шліфування

		захисту дихання	
Наказовий	Синій круг з навушниками	Працювати в засобах захисту слуху	Поблизу дробарок та компресорів



Рисунок 4.2 - Перелік знаків безпеки на ділянці ламінування

4.2.3. Санітарно-гігієнічні та медико-профілактичні заходи

Цей блок заходів спрямований на збереження здоров'я працівників у довгостроковій перспективі.

Контроль стану здоров'я

1. *Попередні медичні огляди:* Проводяться при прийнятті на роботу, щоб визначити, чи немає у людини протипоказань до роботи з хімічними речовинами (астма, алергії).
2. *Періодичні медичні огляди***:** Проводяться щорічно для працівників, які піддаються дії шкідливих факторів. Основна мета - раннє виявлення ознак професійних захворювань (токсичних гепатитів, дерматитів, туговухості).
3. *Психофізіологічний добір:* Для операторів складних ламінувальних ліній, робота яких вимагає високої концентрації уваги, швидкості реакції та стійкості до монотонності.

Санітарно-побутове обслуговування

1. *Обладнання гардеробних:* Необхідно забезпечити окреме зберігання домашнього та робочого одягу, оскільки робочий одяг може бути забруднений клеєм та пилом.
2. *Душові сітки:* Обов'язкова наявність гарячої та холодної води. Норматив: 1 душова сітка на 3-5 працівників у зміні.
3. *Кімнати прийому їжі:* Категорично заборонено приймати їжу на робочих місцях у цеху через ризик потрапляння токсичних речовин у стравохід. Кімната прийому їжі повинна бути ізольована від цеху, обладнана холодильником, мікрохвильовою піччю та рукомийником.

Забезпечення безкоштовним молоком

Працівникам, які працюють у шкідливих умовах праці (контакт з розчинниками, формальдегідом), безкоштовно видається молоко або інші рівноцінні харчові продукти (з розрахунку 0,5 л на зміну) для детоксикації організму.

4.2.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

ЗІЗ є останнім рубіжем оборони. Вони використовуються лише тоді, коли всі інші технічні та організаційні заходи не дозволяють повністю усунути небезпечний фактор.

Структура забезпечення ЗІЗ на ламінувальному виробництві:

1. *Захист органів дихання:*

– *Протигазові респіратори (наприклад, марки А):* З вугільними фільтрами. Обов'язкові для операторів ламінаторів, що використовують сольвентні клеї. Фільтри підлягають регулярній заміні за графіком.

– *Протипилові респіратори (класу FFP2 або FFP3):* Обов'язкові на шліфувальних та обрізних верстатах, а також у зонах *утворення деревного пилу.*

2. *Захист рук:*

– *Рукавички з нітриловим або неопреновим покриттям:* Забезпечують стійкість до дії органічних розчинників та клеїв. Вони не повинні ковзати при роботі.
– *Рукавички для роботи з гарячими поверхнями:* Для операторів пресів та при обслуговуванні термовала.

3. *Захист слуху:*

– *Протишумові навушники або беруші:* Використовуються, якщо рівень шуму перевищує 80 дБА.

4. *Захист очей та обличчя:*

– *Захисні окуляри закритого типу:* Для захисту від бризок клею та пилу.
– *Захисні щитки:* При виконанні робіт, що супроводжуються відлітанням великих часток (подрібнення відходів).

5. *Спецодяг та спецвзуття:*

– *Костюми з антистатичної тканини:* Щоб уникнути накопичення заряду на тілі працівника.
– *Спецвзуття:* Черевики з металевим підноском для захисту від падіння важких рулонів або панелей, а також з підошвою, що не ковзає.

Оцінка ефективності ЗІЗ слуху

Для визначення ефективності використання навушників використовується розрахунок очікуваного рівня шуму під навушниками (L_екв.під):

$$L_{\text{екв.під}} = L_{\text{екв.цех}} - SNR \times k$$

де: $L_{\text{екв.цех}}$ - фактичний еквівалентний рівень шуму в цеху (дБА).

SNR - Single Number Rating, паспортний показник зниження шуму даними навушниками.

k - коефіцієнт надійності, який враховує неправильне носіння навушників працівником. Приймається рівним 0,6-0,7.

Наприклад, якщо в цеху 95 дБА, а навушники мають SNR 30 дБ, то:

$$L_{\text{екв.під}} = 95 - 30 \times 0{,}7 = 95 - 21 = 74_{\text{дБА}}$$

Це значення менше 80 дБА, тому дані навушники є ефективними.

4.2.5. Контроль та моніторинг стану охорони праці

Дієва система охорони праці вимагає постійного контролю та зворотного зв'язку.

1. *Оперативний контроль:* Здійснюється майстрами та начальниками змін перед початком кожної зміни. Перевірка справності огороджень, роботи вентиляції, наявності ЗІЗ.
2. *Виробничий контроль за дотриманням санітарних норм:*
    - *Щомісячне вимірювання* концентрації ЛОС у повітрі робочої зони.
    - *Щорічне вимірювання* рівнів шуму та вібрації на робочих місцях.
3. *Внутрішні аудити з охорони праці:* Проводяться службою охорони праці підприємства (наприклад, раз на квартал) для перевірки ведення журналів, виконання інструкцій та стану обладнання.
4. *Атестація робочих місць за умовами праці:* Проводиться раз на 5 років за участю акредитованих лабораторій. Це основа для визначення пільг та компенсацій працівникам (додаткові відпустки, підвищена оплата, молоко), а також для розробки заходів щодо покращення умов.

Розрахунок індексу профзахворювань (Іпз)

Для оцінки динаміки стану здоров'я колективу використовується індекс профзахворювань:

$$I_{\text{пз}} = \frac{(N_{\text{пз}} \times 1000)}{N_{\text{заг}}}$$

де:и$N_{\text{пз}}$ - кількість вперше виявлених професійних захворювань за рік.

$N_{\text{заг}}$ - загальна кількість працівників, які працюють у шкідливих умовах. Зниження цього індексу протягом кількох років є головним критерієм ефективності всієї системи охорони праці на підприємстві.

Впровадження комплексу заходів з охорони праці на підприємствах із виробництва ламінованих матеріалів є не лише вимогою законодавства, а й запорукою стабільної та ефективної роботи. Специфіка галузі, що поєднує в собі хімічні та механічні небезпеки, вимагає переходу від реагування на інциденти до проактивного управління ризиками.

На основі проведеного аналізу встановлено, що пріоритетними заходами колективного захисту є:

1. *Впровадження світлових бар'єрів* та систем автоматичної зупинки валів, що є найефективнішим методом запобігання важкому травматизму.
2. *Проектування високофункціональної локальної витяжної вентиляції* на вузлах нанесення клею та сушіння, що забезпечує зниження концентрації токсичних парів до ГДК.
3. *Ефективне зняття статичного заряду* з рулонів плівки, що є критичним для забезпечення пожежної безпеки в цехах з використанням сольвентів.

Організаційні заходи, такі як регулярне навчання, чітке маркування небезпечних зон та раціоналізація режимів праці, створюють необхідний підмурівок для формування культури безпеки. Забезпечення працівників високоякісними ЗІЗ органів дихання та слуху є останнім, але необхідним етапом, що гарантує захист у будь-яких умовах.

Запропоновані розрахункові методики оцінки достатності повітрообміну та ефективності ЗІЗ слуху дозволяють обґрунтувати вибір конкретних технічних рішень та оптимізувати витрати на охорону праці. Таким чином, створення безпечних умов праці на ламінувальному виробництві - це інвестиція в сталий розвиток, що мінімізує збитки від аварій, штрафів та профзахворювань, підвищуючи лояльність персоналу та репутацію підприємства.

4.3. Пожежна та техногенна безпека підприємства

Забезпечення пожежної та техногенної безпеки на об’єктах, що спеціалізуються на випуску ламінованих матеріалів, є критичним аспектом стійкості бізнесу. Це зумовлено високою концентрацією горючого навантаження: від деревного пилу та целюлозної основи до синтетичних плівок і легкозаймистих розчинників. Будь-яке ігнорування протоколів безпеки може перетворити технологічну лінію на епіцентр техногенної аварії з непередбачуваними наслідками для екології та персоналу.

4.3.1. Категорування приміщень та аналіз пожежного навантаження

Для правильного вибору систем захисту необхідно чітко розуміти клас небезпеки кожної дільниці. Виробництво ламінатів зазвичай поділяється на зони, де категорія за вибухопожежною небезпекою варіюється від найвищої (А) до помірної (В).

1. *Дільниця підготовки клеїв та змішування компонентів (Категорія А/Б):* Тут зосереджені леткі органічні сполуки. Формування пароповітряних сумішей може призвести до об’ємного вибуху при появі найменшої іскри.
2. *Склад готової продукції та склад плівок (Категорія В):* Характеризується високим питомим пожежним навантаженням. Полімери (поліетилен, поліпропілен) при горінні виділяють величезну кількість тепла та токсичних газів.
3. *Дільниця ламінування та пресування (Категорія В): Поєднує високу температуру технологічного процесу з наявністю па*перу та плівок.

Для розрахунку пожежного навантаження (Q) на дільниці використовується формула:

$Q = \text{сума}\ (G_i \times Q_{ni})$

Де:

- G_i - маса і-го пального матеріалу (кг);
- Q_{ni} - нижча теплота згоряння і-го матеріалу (МДж/кг).

Таблиця 4.4. Пожежонебезпечні характеристики основних матеріалів виробництва

Матеріал	*Теплота згоряння, МДж/кг*	*Температура займання, °С*	*Особливості гасіння*
Поліетиленова плівка	46,0	340	Вода зі змочувачами, піна
Деревний пил (HDF)	18,5	290	Вода (небезпека розпилення)
Етилацетат (розчинник)	25,0	-4	Піна середньої кратності, порошок
Папір текстурний	14,0	230	Розпилена вода

4.3.2. Системи автоматичного виявлення та ліквідації пожеж

Сучасне підприємство не може покладатися лише на ручні вогнегасники. Система захисту має бути інтегрованою та багаторівневою.

Інтелектуальна пожежна сигналізація

У цехах ламінування, де постійно присутня запиленість, звичайні димові датчики можуть давати хибні спрацювання. Тому рекомендується використовувати:

- *Комбіновані сповіщувачі* (дим + тепло);
- *Аспіраційні системи*, які постійно забирають проби повітря та аналізують їх на молекулярному рівні;
- *Датчики полум'я* в зонах нанесення клею, що реагують на ультрафіолетове або інфрачервоне випромінювання вогню за долі секунди.

Автоматичні установки пожежогасіння (АУПГ)

Для ламінувальних ліній найбільш ефективними є:

1. *Водяне гасіння тонкорозпиленою водою:* Мінімальна шкода для обладнання при високій охолоджувальній здатності.
2. *Газове гасіння (CO2 або інертні гази):* Застосовується всередині закритих сушильних камер та серверних. Воно витісняє кисень, припиняючи горіння без механічного пошкодження дорогих валів.
3. *Пінне гасіння:* Незамінне на складах зберігання рідких розчинників.

4.3.3. Техногенна безпека та запобігання екологічним катастрофам

Техногенна небезпека на такому виробництві пов'язана з можливим розгерметизацією систем подачі хімікатів або аварією на очисних спорудах.

Сценарії можливих аварій:

- *Розлив великої кількості розчинника:* Створює ризик не лише пожежі, а й отруєння персоналу та потрапляння хімікатів у ґрунтові води.
- *Займання в системі вентиляції:* Пил у повітроводах може діяти як порох, поширюючи вогонь по всій будівлі за лічені хвилини.

Заходи техногенного захисту:

1. *Облаштування обвалувань та піддонів:* Усі ємності з хімікатами повинні стояти на піддонах, об'єм яких перевищує об'єм найбільшої ємності.
2. *Аварійні засувки на каналізації:* У разі проливу вони автоматично перекривають вихід у загальну мережу, спрямовуючи відходи в аварійний резервуар.
3. *Вогнезатримувальні клапани:* Встановлення автоматичних заслінок у вентиляції, що спрацьовують від датчиків диму.

4.3.4. Розрахунок часу евакуації та вимоги до шляхів відходу

Безпека людей - головний пріоритет. Час евакуації (tев) не повинен перевищувати критичний час (tкр), за який небезпечні фактори пожежі (дим, температура) стануть нестерпними.

Розрахунок допустимого часу евакуації проводиться за методикою моделювання поширення небезпечних факторів:

tкр = f(об'єм приміщення, швидкість вигоряння, токсичність)

Вимоги до евакуації на дільниці ламінування:

- *Кількість виходів:* Не менше двох з протилежних боків цеху.
- *Напрямок відкривання дверей:* Тільки в сторону виходу (назовні).
- *Аварійне освітлення***:** Має працювати від незалежних акумуляторів не менше 60 хвилин при відключенні основного живлення.
- *Ширина проходів:* Не менше 1,2 м для основних шляхів.

4.3.5. Організація дій у надзвичайних ситуаціях (ПЛАС)

План ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) - це документ, який має бути *вивчений кожним працівником до автоматизму.*

Алгоритм дій при виявленні пожежі:

1. *Подача сигналу:* Натискання ручного сповіщувача та доповідь диспетчеру.
2. *Знеструмлення обладнання:* Натискання кнопки "Екстрена зупинка" (Emergency Stop) на ламінаторі.
3. *Первинне гасіння:* Використання вогнегасників (якщо площа пожежі не перевищує 1-2 м2).
4. *Евакуація:* Організований вихід до місця збору.
5. *Зустріч пожежних підрозділів:* Надання інформації про наявність балонів, хімікатів та людей у будівлі.

Таблиця 4.5. Типи вогнегасників для дільниці ламінування

Об'єкт захисту	*Рекомендований тип*	*Чому саме цей тип?*
Електричні щити, двигуни	Вуглекислотний (ВВ)	Не проводить струм, не псує електроніку
Рулони паперу, деревина	Порошковий (ВП) або Водний	Глибоке проникнення в пористу структуру
Проливи розчинників	Повітряно-пінний (ВВП)	Створює плівку, що перекриває доступ кисню
Готова ламінована плита	Порошковий (ВП)	Універсальність для твердих речовин

4.3.6. Контроль за справністю систем захисту

Навіть найкраща система не спрацює, якщо вона несправна. Підприємство зобов'язане проводити:

- *Щоденний огляд* цілісності вогнегасників та доступності гідрантів.
- *Щомісячне тестування* пожежної сигналізації.
- *Щопівріччу перевірку* працездатності внутрішнього протипожежного водопроводу (пускання води).
- *Щорічне технічне обслуговування* систем автоматичного гасіння ліцензованою організацією.

Формула оцінки пожежного ризику (R):

$$R = P_{\text{в}} \times (1 - \text{Р}_{\text{з}}) \times \text{Р}_{\text{н}}$$

де: Рв - ймовірність виникнення пожежі (статистичний показник);

Рз - ймовірність спрацювання систем захисту;

Рн - ймовірність загибелі людей (залежить від швидкості евакуації).

Мета впровадження всіх заходів - знизити показник R до рівня менше ніж 10^{-6} на рік, що відповідає світовим стандартам безпеки.

Висновок до 4 розділу

Підбиваючи підсумок аналізу робочого середовища, можна стверджувати, що виробництво ламінованих матеріалів - це «живий» механізм, де висока швидкість процесів та використання хімічних компонентів створюють специфічне поле ризиків. Дослідження шкідливих факторів показало, що головна загроза прихована не лише у видимих механічних пошкодженнях від рухомих частин ламінатора, а й у невидимому впливі випарів розчинників та статичної електрики, яка накопичується на полімерних плівках.

Ми визначили, що формальний підхід до охорони праці тут не працює. Замість простого інструктажу, безпека має базуватися на реальній інженерній логіці: від встановлення датчиків, що миттєво реагують на перевищення концентрації парів у повітрі, до ергономічної організації робочих місць, яка знімає фізичну напругу з оператора.

Особливий акцент у розділі зроблено на пожежній безпеці. Оскільки етилацетат та інші адгезиви є надзвичайно підступними в плані займання, запропоновані заходи виходять за межі стандартної наявності вогнегасників. Йдеться про створення системи «активного імунітету» підприємства - автоматизацію вентиляції, іскрозахист та чіткі алгоритми дій, що дозволяють локалізувати будь-яку нештатну ситуацію ще до того, як вона переросте в аварію.

Отже, створена модель безпеки перетворює охорону праці з паперового обов’язку на реальний інструмент захисту. Такий підхід гарантує, що технологічний прогрес і нарощування потужностей виробництва не відбуватимуться ціною здоров'я працівників чи цілісності навколишньої інфраструктури. Вибудована система захисту є достатньо гнучкою, щоб адаптуватися до змін у технології та забезпечити стабільну роботу підприємства навіть за екстремальних умов.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження екологічних аспектів виробництва ламінованих матеріалів та розроблено практичні підходи до зниження техногенного навантаження на компоненти довкілля. Проведений аналіз підтвердив, що сучасна індустрія ламінування є важливою складовою багатьох галузей промисловості, зокрема пакувальної, меблевої, будівельної та поліграфічної, однак водночас супроводжується значними екологічними ризиками.

У першому розділі було досліджено теоретичні основи виробництва ламінованих матеріалів, їх класифікацію, технологічні особливості та сировинну базу. Встановлено, що основними екологічно небезпечними компонентами виробництва є леткі органічні сполуки, формальдегідні смоли, синтетичні полімери, фенольні сполуки та багатокомпонентні композитні відходи. Аналіз показав, що сучасні ламіновані матеріали характеризуються високою функціональністю та довговічністю, проте їх багатошарова структура значно ускладнює процеси утилізації та повторної переробки.

Проведена ідентифікація джерел техногенного навантаження дозволила встановити, що найбільший негативний вплив на атмосферне повітря формують процеси нанесення клеїв, сушіння та гарячого пресування, під час яких у повітря потрапляють формальдегід, толуол, етилацетат та інші леткі органічні сполуки. Також значну небезпеку становить дрібнодисперсний полімерний пил, який утворюється під час механічної обробки ламінованих поверхонь.

У другому розділі виконано аналіз впливу виробництва ламінованих матеріалів на атмосферне повітря, водні ресурси та літосферу. Встановлено, що стічні води підприємств містять фенольні сполуки, формальдегід, залишки клеїв, мікропластик та поверхнево-активні речовини, які негативно впливають на водні екосистеми. Також підтверджено, що виробничі відходи ламінування є складними для повторної переробки через нероздільність полімерних і целюлозних шарів.

Окрему увагу приділено аналізу екологічних ризиків. Визначено, що найбільш небезпечними факторами є емісія формальдегіду, утворення мікропластику, накопичення композитних відходів та значне енергоспоживання виробництва. Встановлено, що існуюча лінійна модель використання ламінованих матеріалів створює довготривалий екологічний борг перед довкіллям та потребує переходу до принципів циркулярної економіки.

Проведений аналіз нормативно-правового забезпечення показав, що сучасні європейські підходи орієнтовані на впровадження найкращих доступних технологій (BAT), скорочення викидів ЛОС, розширену відповідальність виробника та створення матеріалів, придатних до повторної переробки. Встановлено, що Україна поступово гармонізує екологічне законодавство з вимогами ЄС, зокрема у сфері управління відходами та інтегрованого довкільного дозволу.

У практичній частині роботи виконано інженерно-екологічні розрахунки викидів летких органічних сполук та обґрунтовано впровадження системи регенеративного термічного окиснення (RTO). Результати розрахунків показали, що річний обсяг викидів ЛОС без очищення становить 23,04 т/рік, тоді як використання системи RTO дозволяє знизити викиди на 99 %, тобто до 0,23 т/рік. Таким чином, запропонована система забезпечує скорочення викидів приблизно на 22,81 т/рік.

Крім того, проведено розрахунок утворення виробничих відходів та стічних вод. Встановлено, що річний обсяг твердих відходів становить близько 225 т/рік, а кількість стічних вод — приблизно 9000 м³/рік. Запропоновано комплекс природоохоронних заходів, які включають впровадження багатоступеневих систем очищення стічних вод, внутрішнє сортування відходів, використання вторинної сировини та енергетичну рекуперацію тепла.

У результаті проведеного дослідження доведено, що зниження негативного впливу виробництва ламінованих матеріалів на довкілля можливе

лише за умови комплексної екологічної модернізації підприємств. Найбільш перспективними напрямками є:

- перехід на водорозчинні та безсольвентні клеї;
- використання систем RTO для очищення викидів;
- впровадження замкнених циклів водокористування;
- розвиток технологій переробки композитних відходів;
- використання принципів циркулярної економіки;
- підвищення енергоефективності виробництва.

Отже, поставлена мета дипломної роботи досягнута, а визначені завдання виконані у повному обсязі. Результати дослідження можуть бути використані при розробці екологічних програм модернізації підприємств з виробництва ламінованих матеріалів, а також під час впровадження сучасних технологій захисту навколишнього середовища у промисловості.

Список використаних джерел:

1. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. Редакція від 01.01.2024.
2. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. Редакція від 29.12.2023.
3. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX (введено в дію 09.07.2023).
4. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16.10.1992 № 2707-XII. Редакція від 03.09.2023.
5. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.1994 № 4004-XII. Редакція від 01.10.2023.
6. Водний кодекс України: Закон від 06.06.1995 № 213/95-ВР. Редакція від 11.08.2024.
7. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Редакція від 18.04.2025.
8. ДСТУ EN ISO 14001:2015 (EN ISO 14001:2015, IDT; ISO 14001:2015, IDT). Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Чинний від 2021.
9. Безсонний В. Л., Масікевич Ю. Г. Екологічна безпека промислових підприємств: Монографія. Чернівці: Книги–ХХІ, 2022. 312 с.
10. Клименко М. О., Прищепа А. М., Стецюк Л. М. Моніторинг довкілля: Підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Рівне: НУВГП, 2021. 415 с.
11. Микитин О. М., Сафранов Т. А. Управління екологічними ризиками в промислових регіонах: Навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2023. 288 с.
12. Павличенко А. В., Кулікова Д. В. Технології захисту атмосферного повітря та утилізації газових викидів: Навч. посібник. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 184 с.

13. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Енергоефективні технології очищення та рекуперації у промисловості. Вінниця: ВНТУ, 2024. 202 с.
14. Шевченко Р. І. Пожежна та техногенна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: Курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2023. 240 с.
15. Андрусевич А. О. Реформа законодавства у сфері управління відходами в Україні: виклики євроінтеграції. Екологічне право. 2023. № 2. С. 12–19.
16. Гавва О. П., Кривошей В. М. Світові тенденції розвитку гнучкої упаковки та мономатеріалів. Упаковка. 2022. № 1. С. 8–13.
17. Ковальчук В. А., Бойко О. В. Моделювання процесів розсіювання летких органічних сполук у приземному шарі атмосфери. Екологічні науки. 2024. № 3 (52). С. 44–51.
18. Попович В. В., Волошин С. М. Оцінка ефективності термічного допалювання органічних розчинників на підприємствах хімічного профілю. Техногенно-екологічна безпека. 2023. Вип. 14. С. 75–83.
19. Романенко М. В. Аналіз ризиків виникнення статичної електрики при переробці діелектричних полімерних плівок. Охорона праці та цивільний захист. 2021. № 4. С. 29–35.
20. Сорока О. І. Екологічні аспекти термічної утилізації та спалювання відходів багатошарових ламінатів. Наукові праці НУХТ. 2022. Т. 28. № 5. С. 102–110.
21. Юрченко В. О., Мельникова О. В. Системи оборотного водопостачання та очищення технологічних стоків маловодних хімічних виробництв. Питання захисту довкілля та техногенної безпеки. 2025. № 1. С. 58–66.
22. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Consolidated version as of 2024. Official Journal of the European Union.
23. European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Surface Treatment using Organic Solvents. Joint Research Centre. Seville: EIPPCB, 2021. 948 p.

24. European Chemical Agency (ECHA). Guidance on information requirements and chemical safety assessment under REACH Regulation. Helsinki, 2023. 142 p.
25. Bobst Group SA. Sustainable solutions in flexible packaging: Transitioning to solventless lamination processes. Lausanne: Bobst Whitepapers, 2022. 36 p.
26. Henkel Adhesive Technologies. Sustainability and Environmental Performance Report 2024: Next-Generation Water-Based and Solvent-Free Adhesives. Düsseldorf, 2025. 88 p.
27. Dow Chemical Company. Polyurethane Adhesives for Flexible Packaging: Addressing Circular Economy Requirements. Michigan: Dow Technical Library, 2023. 54 p.
28. US EPA. Control Techniques Guidelines for the Reduction of Volatile Organic Compound Emissions from Coating and Lamination Processes. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2022. 112 p.
29. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO, 2021. 284 p.
30. European Commission. Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 42 p.