

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему:

**"ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПИЛОУТВОРЕННЯ ТА
РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ
НА ТОВ «ВУДМАН ГРУП» "**

Виконала: студентка 6 курсу, групи ТЗНСз-61м
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»
Сомаг Г. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кіндзера Д.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Львів-2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут
Кафедра

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

Освітній рівень
Спеціальність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Клишівський Б.Я.

20 вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

Сомар Галина Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **«Дослідження проблеми пилоутворення та розроблення методів пиловловлювання на ТОВ «ВУДМАН ГРУП»**

(«Research of the dust generation problem and development of dust collection methods at "WOODMAN GROUP" LLC»)

Керівник роботи: Кінцзера Діана Петрівна, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи)

затверджена наказом НЛТУ України від "12" липня 2024 року № С-470

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2024 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати огляд літературних джерел з проблематики, теоретичні і експериментальні дослідження впливу на пилоутворення та пиловловлювання в процесі деревообробки

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

1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

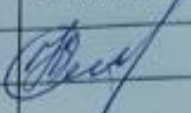
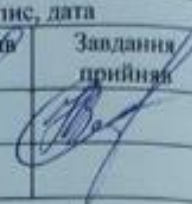
2. Дослідження впливу конструкційних та режимних параметрів на шумоутворення круглопилкових верстатів в холостому та робочому режимах

3. Охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу матеріалу _____

(слайди презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень)

6. Консультанти розділів роботи

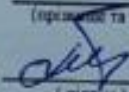
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видано	Завдання прийнято
Охорона праці	доц. Сторожук В.М.		

7. Дата видачі завдання 15.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
	Аналіз стану питання	до 01.10.24	
	Експериментальні дослідження	до 15.11.24	
	Обробка результатів експериментальних досліджень	до 30.11.24	
	Охорона праці	до 05.12.24	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.24	

Студент  Сомар Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Кіндзера Д.П..
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана магістерська робота присвячена питанням особливостей утворення деревного пилу в процесах переробки деревини. Проаналізовані джерела пилоутворення та дисперсний склад утворюваного пилу. Зроблений огляд літературних джерел з даної проблеми

Описані та проведений порівняльний аналіз пиловловлюючих пристроїв. Описані їх переваги та недоліки.

Оцінені масштаби викидів пилу як деревообробною промисловістю України, так і інших європейських країн. Проаналізовані фізико-механічні властивості пилу

Проаналізовані можливі варіанти застосування деревного пилу. Досліджений метод виготовлення будівельних блоків з використанням деревинного пилу як наповнювача.

Ключові слова: технології захисту навколишнього середовища – деревний пил – вловлювання пилу.

ABSTRACT

This master's thesis is devoted to the issues of the peculiarities of wood dust formation in wood processing processes. The sources of dust formation and the dispersed composition of the formed dust are analyzed. A review of the literature on this problem is made

A comparative analysis of dust collection devices is described and conducted. Their advantages and disadvantages are described.

The scale of dust emissions by both the woodworking industry of Ukraine and other European countries is estimated. The physical and mechanical properties of dust are analyzed

Possible options for the use of wood dust are analyzed. The method of manufacturing building blocks using wood dust as a filler is investigated.

Keywords: environmental protection technologies - wood dust - dust collection

ВСТУП

В контексті сталого розвитку проблема складу повітряного середовища і комплексу негативних наслідків пов'язаних із забрудненням повітря стоїть серед першочергових. Деревний пил – важлива компонента даної проблеми. Враховуючи масштаби продукування пилу, його багато фракційність, різноманітність існуючих способів пиловловлювання існує багато «білих плям» у вирішенні проблеми, які вимагають наукового підходу, дослідження і пошуку нових ефективних шляхів вловлювання та використання деревного пилу.

Мета досліджень полягає в забезпеченні замкнутого циклу промислового використання деревини, щоб вивчити важливу складову життєвого циклу виробництва і забезпечити повний комплекс використання деревини. Вважаємо, такі дослідження є не тільки актуальними, але й перспективними при інноваційних підходах до технологій захисту довкілля, що полягають в переорієнтуванні їх від сталості до регенерації.

Запиленість на робочих місцях, особливо в цехах механічної обробки деревини, є важливою проблемою, що впливає на здоров'я працівників і виробничі процеси. Накопичення деревного пилу не лише створює небезпеку для дихальної системи, але й підвищує ризик виникнення пожеж та вибухів, особливо в приміщеннях з великим скупченням пилових частинок. Саме тому питання зниження запиленості в таких цехах є актуальним з наступних причин:

Вплив на здоров'я працівників: Пил деревини містить частинки, які можуть проникати в легені, викликаючи захворювання дихальних шляхів, зокрема алергії, астму, хронічний бронхіт і навіть рак легенів. Згідно з дослідженнями, довготривала робота в умовах підвищеної запиленості може значно знизити продуктивність і призвести до високих рівнів захворюваності серед працівників.

Ризики для виробничого процесу: Пилові відкладення можуть спричинити зношення обладнання, зменшуючи його ефективність та підвищуючи ризик виходу з ладу. Крім того, наявність великої кількості пилу в повітрі негативно впливає на якість оброблюваного матеріалу та кінцевої продукції.

Пожежна та вибухова небезпека: Деревний пил має високу вибухонебезпечність, що може призвести до серйозних аварій. Це створює додаткові вимоги до організації безпечних умов праці.

Нормативно-правові вимоги: Дотримання нормативів щодо вмісту пилу у повітрі робочої зони є важливою умовою для функціонування підприємства. Багато країн встановлюють граничні допустимі концентрації пилу, перевищення яких може призвести до штрафів, призупинення діяльності або навіть закриття виробництва.

Зважаючи на ці фактори, магістерська робота, що присвячена розробці та впровадженню методів і технологій зниження запиленості у цеху механічної обробки деревини, є вкрай важливою та актуальною. Вона дозволить не лише підвищити безпеку та комфорт праці, але й сприятиме підвищенню продуктивності та якості продукції, що виготовляється.

РОЗДІЛ 1. СТАН ДОСЛІДЖЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ ПИЛОУТВОРЕННЯ ТА ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ В ДЕРЕВООБРОБНІЙ ГАЛУЗІ

1.1. Значення проблеми пилоутворення для деревообробної промисловості

Виробничі процеси в деревообробці можуть призводити до значних викидів пилу, зокрема під час операцій, пов'язаних з обробкою деревини, таких як шліфування, різка та формування. Наприклад, пил під час шліфування досягає концентрації до 10 мг/м³ повітря. При цьому дрібнодисперсний пил (PM2.5) має особливо високий вплив на якість повітря та здоров'я.

Деревообробне підприємство є місцем інтенсивного утворення пилу під час обробки деревини. Пил утворюється на різних етапах технологічного процесу: від розпилювання до шліфування та свердління. Розглянемо основні джерела пилоутворення та їхню специфіку.

1. Розпилювання деревини

Цей процес супроводжується виділенням великої кількості грубих пилових частинок, які утворюються при різанні деревини на окремі елементи. Рівень пилоутворення залежить від типу матеріалу, швидкості роботи розпилювального верстата і розмірів ріжучого інструмента.

Характер пилу: Частинки великого та середнього розміру (5-10 мкм).

Основні джерела: Стрічкові пили, круглопильні верстати.

2. Шліфування

Шліфувальні верстати є основним джерелом дрібнодисперсного пилу, який легко піднімається в повітря і довго залишається у зваженому стані. Під час шліфування поверхні виділяються мікроскопічні частинки пилу.

Характер пилу: Дрібнодисперсний пил (0,1-5 мкм).

Основні джерела: Стрічкові, дискові та барабанні шліфувальні верстати.

3. Фрезерування та свердління

Під час фрезерування і свердління деревини відбувається механічне зняття шару матеріалу, що призводить до утворення пилу різного розміру. Окрім великих частинок, виділяється дрібнодисперсний пил, що є більш небезпечним для здоров'я працівників.

Характер пилу: Частинки різного розміру, переважно середні (1-10 мкм).

Основні джерела: Верстати для фрезерування і свердління.

4. Обробка деревної стружки

Під час збирання та транспортування деревної стружки також може утворюватися пил. Хоча цей процес менш небезпечний з точки зору пилоутворення, частинки стружки можуть розсипатися і створювати додаткові зони запиленості.

Характер пилу: Грубі частинки деревної стружки (понад 10 мкм).

Основні джерела: Стружкові і відсмоктувальні системи.

Таблиця 1.1. Джерела пилоутворення та характеристика пилу

Джерело пилоутворення	Процес	Основні верстати	Розмір пилу (мкм)	Інтенсивність пилоутворення
Розпилювання	Різання деревини	Круглопильні, стрічкові пили	5-10	Висока
Шліфування	Шліфування поверхонь	Стрічкові, дискові шліфувальні верстати	0,1-5	Дуже висока
Фрезерування та свердління	Обробка кромки і отворів	Фрезерувальні, свердлильні верстати	1-10	Середня
Обробка стружки	Збирання та транспортування	Стружкові системи	Понад 10	Низька

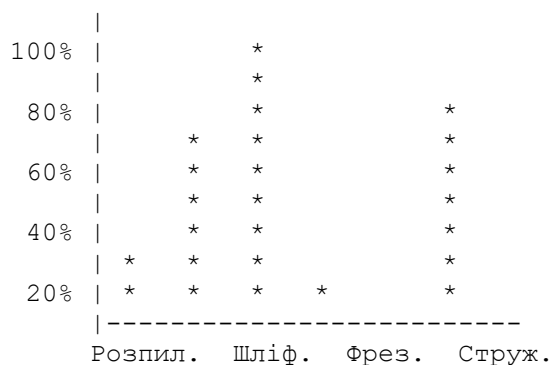


Рис. 1. Розподіл пилоутворення за процесами (у % від загальної кількості пилу)

Графік демонструє, що найбільший внесок у загальне пилоутворення вносить процес шліфування, який генерує дрібнодисперсний пил, найбільш шкідливий для здоров'я. Розпилювання та фрезерування також є значними джерелами пилу, проте їхній пил має більший розмір частинок.

Таблиця 1.2.

Порівняння пилоутворення за технологічними процесами

Технологічний процес	Середній рівень пилоутворення (мг/м ³)	Частота обслуговування пиловловлювачів
Розпилювання	5-8	Висока
Шліфування	10-12	Дуже висока
Фрезерування	4-6	Середня
Обробка стружки	3-5	Низька

Пил деревини характеризується різноманітною формою та розмірами, залежно від характеру технологічних операцій при яких він утворюється та високим ступенем полідисперсності.

Найдрібніший пил з високим ступенем полідисперсності утворюється в процесах шліфування, крупніші фракції утворюються при фрезеруванні.

Дисперсний склад пилу, який утворюється в різних процесах деревообробки наведено в табл. 1.3. [5].

Таблиця 1.3.

Фракції пилу, що утворюється в процесах деревообробки

Технологічний процес	Матеріал, що обробляється	Вміст пилу, %, при його фракційному складі, мкм				
		200-100	100-75	75-53	53-40	<40
Пиляння	ДСП	16,48	68,32	10,37	2,66	2,17
	Ясень	16,42	68,31	10,44	2,67	2,16
	Береза	17,74	67,04	10,56	2,42	2,24
Фрезерування	ДСП	39,86	53,14	4,09	2,23	0,58
	Ясень	40,77	52,40	4,10	2,13	0,6
	Береза	39,15	53,88	4,08	2,32	0,57
Фугування	ДСП	18,72	19,37	7,45	24,54	32
Рейсмусування	Ясень	56,04	36,66	3,95	1,96	1,41

	ДСП	18,72	48,47	19,37	1,42	0,03
	В'яз	17,94	48,42	19,67	1,88	6,09
Шліфування	Ясень	10,73	24,28	20,26	13,54	31,19
	Береза	17,54	42,72	19,08	8,23	12,48
	Червоне дерево	36,21	17,25	14,5	11,38	20,67

Аналіз показує, що основними джерелами пилоутворення на деревообробному підприємстві є шліфувальні та розпилювальні процеси. Дрібнодисперсний пил, який утворюється під час шліфування, є найбільш небезпечним, оскільки він легко потрапляє в дихальні шляхи та викликає захворювання. Для ефективного зменшення рівня запиленості необхідно приділяти особливу увагу пиловловлюванню в зонах шліфування і розпилювання.

1.2. Вплив пилу на працівників, обладнання та екологію

Згідно з даними OSHA, рівень захворюваності на респіраторні хвороби серед працівників деревообробної галузі залишається високим. OSHA вказує, що у 2018 році для всіх виробничих підприємств середній показник складав 3,4 випадків на 100 працівників, тоді як у деревообробній промисловості цей показник був у два рази вищим, досягаючи 5,4

Цей напрямок досліджує вплив пилу на дихальну та імунну системи людини. Різні види деревини продукують пил із різним хімічним складом, що може викликати як алергічні реакції, так і довгострокові захворювання, включаючи астму, хронічні респіраторні захворювання та навіть онкологічні проблеми. Дослідники також вивчають порогові концентрації пилу та тривалість його впливу, які можуть спричинити негативні наслідки для здоров'я працівників.

Основні ризики включають алергічні реакції, бронхіти, астму та ризик розвитку онкологічних захворювань.

Деревний пил є канцерогеном і може призводити до респіраторних захворювань. За дослідженнями, серед працівників деревообробної

промисловості рівень професійної захворюваності на астму може бути вдвічі вищим, ніж серед загальної популяції.

Частота хронічного бронхіту серед працівників деревообробки перевищує 30%.

Таблиця 1. 4

Вплив запиленості на здоров'я працівників

Показник	Допустимі значення за нормами	Рівень при підвищеній запиленості	Наслідки для здоров'я
Вміст деревного пилу у повітрі (мг/м ³)	≤ 6 мг/м ³	5-10 мг/м ³	Алергії, респіраторні захворювання
Відсоток працівників, схильних до ризику	≤ 5%	30-50%	Зниження працездатності, підвищена захворюваність

Вплив на обладнання :

Знос деталей через накопичення пилу, особливо в умовах високої концентрації (10-15 мг/м³).

Потреба у регулярному очищенні обладнання: при відсутності пиловловлювання може знадобитися щотижневе очищення, що призводить до зупинок роботи.

Підвищення продуктивності обладнання: Використання систем пиловловлювання допомагає зберегти обладнання в робочому стані на довший термін, що сприяє підвищенню ефективності роботи підприємства.

Концентрація пилу в деревообробних цехах: У середньому коливається від 2 до 10 мг/м³ повітря, але в умовах інтенсивного виробництва може сягати 20 мг/м³ і більше.

Допустима концентрація пилу: За нормативами безпеки праці, допустима концентрація деревного пилу у повітрі виробничих приміщень не повинна перевищувати 6 мг/м³ для м'якої деревини та 1 мг/м³ для твердої деревини (при тривалому контакті).

За деякими дослідженнями, деревообробні підприємства можуть щорічно викидати до 1000 кг пилу в атмосферу, залежно від розмірів і типу виробництва.

Цей напрямок фокусується на вивченні екологічних наслідків викидів деревного пилу. Учені аналізують, як деревний пил впливає на якість ґрунту, водні ресурси та атмосферу. У деяких випадках пил може змінювати хімічний склад ґрунту або впливати на водну флору і фауну при попаданні у водойми. Дослідження зосереджені також на моделях поширення пилу, які допомагають передбачити його вплив на прилеглі екосистеми та мінімізувати екологічні ризики

Через високий рівень пилових викидів у багатьох деревообробних зонах спостерігаються проблеми із забрудненням повітря та підвищеним рівнем захворюваності серед населення. Дослідження показують, що тривала дія пилу підвищує ризик респіраторних захворювань, включаючи алергії, бронхіти та навіть онкологічні хвороби. Місцеві громади часто звертають увагу на погіршення стану довкілля, особливо у лісистих районах, де деревообробка є важливим сектором економіки.

1.3 Поширення пилу в атмосферу та його вплив на навколишнє середовище.

За оцінками, деревообробне підприємство середніх розмірів може щороку викидати в атмосферу до 1000 кг пилу, що впливає на якість повітря та ґрунту.

Викиди пилу забруднюють повітря, осідають на ґрунт і водойми, порушуючи екологічний баланс. Забруднення може впливати на флору та фауну, викликати зміну мікроклімату у навколишньому середовищі.

Сучасні вимоги щодо охорони навколишнього середовища та зменшення викидів стимулюють деревообробні підприємства до встановлення ефективних систем пиловловлювання.

1.4 Порівняльний аналіз викидів деревного пилу в Україні та в зарубіжних країнах

Статистика викидів пилу деревообробними підприємствами значно варіюється серед країн Європи, залежно від рівня технологічного розвитку, стандартів безпеки праці та екологічного законодавства. У більшості країн Європейського Союзу (ЄС) існують суворі нормативи щодо якості повітря і викидів пилу, що контролюються директивами ЄС і національними правилами.

1. Загальні тенденції у ЄС

Європейське агентство з охорони навколишнього середовища (ЕЕА) регулярно проводить моніторинг викидів забруднювальних речовин, включаючи дрібнодисперсний пил PM10 та PM2.5. Ці частинки є основними компонентами промислових викидів у деревообробній промисловості. Середній рівень концентрації пилу для підприємств ЄС, які активно впроваджують сучасні пиловловлювальні системи, становить близько 2-4 мг/м³, що відповідає стандартам ЄС. Однак у країнах з менш розвинутою системою екологічного регулювання рівні можуть бути суттєво вищими — до 10-15 мг/м³ у повітрі виробничих цехів.

2. Німеччина

У Німеччині, одному з лідерів Європи за стандартами екологічного контролю, деревообробні підприємства зазвичай оснащені ефективними пиловловлювальними системами, що знижують рівень викидів пилу до мінімуму. За даними Федерального відомства з охорони навколишнього середовища (UBA), концентрація пилу в повітрі всередині підприємств після фільтрації може бути нижчою за 1 мг/м³, що значно нижче за допустимий максимум. Також німецьке законодавство зобов'язує компанії регулярно звітувати про викиди і проходити інспекції.

3. Польща

У Польщі ситуація з викидами пилу у деревообробній промисловості більш складна. Багато підприємств використовують менш ефективні або застарілі технології пиловловлювання, що призводить до вищих рівнів викидів у порівнянні із західноєвропейськими країнами. Деякі дослідження вказують, що на окремих підприємствах рівень пилу може сягати 8-10 мг/м³ у робочій

зоні. Польські органи також поступово впроваджують директиви ЄС, але модернізація підприємств часто проходить повільно.

4. Скандинавські країни

У Швеції та Фінляндії діють одні з найсуворіших норм щодо викидів пилю. Наприклад, у Швеції законодавчо встановлений граничний рівень деревного пилю не перевищує 2 мг/м^3 у робочій зоні, а завдяки впровадженню сучасних пиловловлювальних систем реальний рівень часто не перевищує 1 мг/м^3 . Такі показники досягаються завдяки активній підтримці держави для модернізації виробництва, а також значним інвестиціям у технології екологічного захисту.

5. Іспанія та Італія

У країнах Південної Європи, таких як Іспанія та Італія, стандарти щодо викидів пилю також відповідають директивам ЄС, але рівень контролю може суттєво різнитися між регіонами. На промислових підприємствах, що використовують деревообробне обладнання, середній рівень викидів пилю становить приблизно $3\text{-}5 \text{ мг/м}^3$. Проте регіональні відмінності і тип обладнання впливають на ефективність пиловловлювання. Зокрема, у сільськогосподарських регіонах, де менше інвестується в промислове обладнання, рівні можуть досягати вищих значень.

Загалом, у ЄС існує тенденція до зниження концентрації пилю завдяки екологічним програмам, які включають модернізацію обладнання та впровадження пиловловлювальних систем. Дослідження показують, що регулярні інвестиції в системи пиловловлювання дозволяють знизити рівні викидів пилю до безпечних значень, що сприяє покращенню умов праці і збереженню довкілля.

Ситуація з викидами пилю деревообробними підприємствами в Україні є досить актуальною, оскільки технології з контролю пилю та системи очищення повітря тут часто менш розвинені, ніж у країнах Європейського Союзу. Незважаючи на наявність законодавчої бази, яка передбачає стандарти з охорони навколишнього середовища, багато деревообробних підприємств

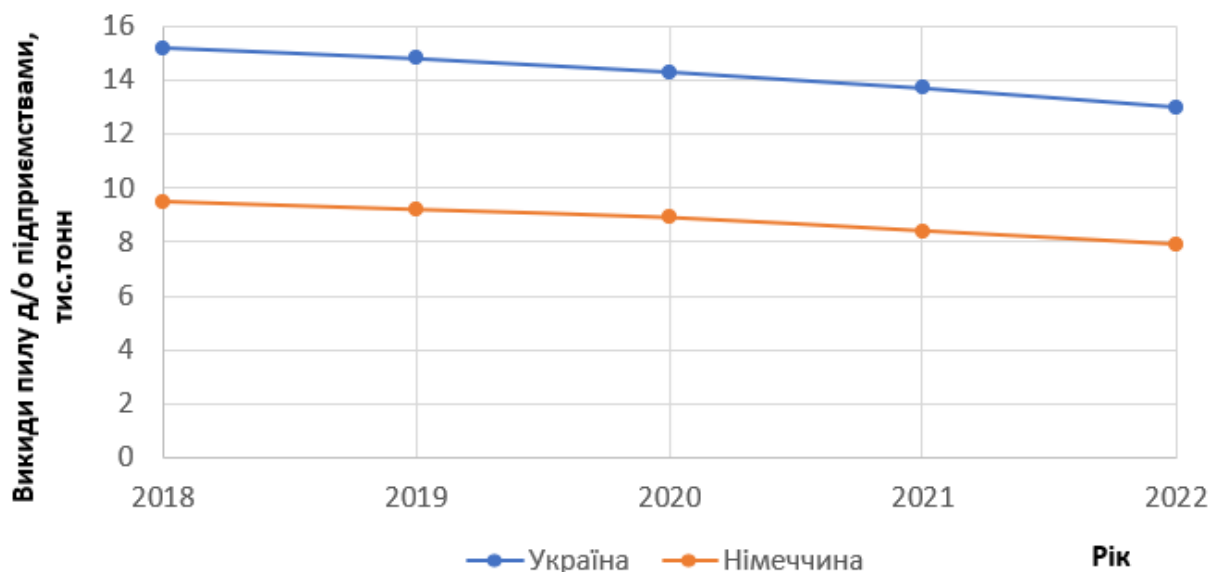
продовжують працювати на застарілому обладнанні та не завжди використовують сучасні пиловловлювальні системи.

Наведені статистичні дані щодо викидів пилу деревообробними підприємствами України та Німеччини за останні 5 років, умовно відображають тенденції викидів пилу з різних джерел, що можуть відрізнятися залежно від регіону та характеру виробничих процесів.

Таблиця 1.

Порівняння динаміки викидів пилу деревообробними підприємствами України та Німеччини за 2018-2022 роки (в тисячах тонн)

Рік	Викиди пилу (тис. тонн) д/о підприємствами України	Викиди пилу (тис. тонн) д/о підприємствами Німеччини
2018	15.2	9.5
2019	14.8	9.2
2020	14.3	8.9
2021	13.7	8.4
2022	13.0	7.9



Україна: З 2018 по 2022 роки спостерігається зменшення обсягу викидів пилу з 15,2 до 13,0 тис. тонн, що свідчить про покращення систем пиловидалення та впровадження екологічних стандартів на деревообробних підприємствах. Темп зниження викидів досить рівномірний — близько 1-1,5% щороку.

Німеччина: Протягом аналізованого періоду викиди пилу зменшилися з 9,5 до 7,9 тис. тонн. Це відображає тенденцію до зменшення викидів у країнах Європейського Союзу завдяки строгим екологічним стандартам та технологічним інноваціям. Зниження викидів у Німеччині більш стабільне порівняно з Україною, що може бути результатом розвиненої системи контролю за промисловими викидами та активного впровадження новітніх технологій.

Обидві країни демонструють зменшення викидів пилу деревообробними підприємствами. Німеччина має більш стабільну тенденцію до зниження викидів завдяки строгим екологічним стандартам і сучасним технологіям, тоді як Україна також прогресує у цьому напрямку, хоча й з дещо вищими показниками викидів, але також з врахуванням тенденції зниження обсягів виробництва, пов'язаними з війною та окупацією частини території.

1.4. Проблеми із законодавчим контролем

Україна має нормативи щодо концентрації пилу в повітрі, подібні до європейських стандартів, але їхній рівень дотримання залежить від можливостей підприємств та регіональних особливостей. Відповідно до українського законодавства, допустимий рівень пилу для робочої зони становить 2 мг/м³ для дрібнодисперсного пилу. Проте в реальності багато підприємств, особливо малих та середніх, не мають фінансової можливості встановити дорогі фільтраційні системи, що призводить до перевищення норм

Для покращення ситуації Україні необхідні державні програми, спрямовані на підтримку малого та середнього бізнесу у придбанні сучасного обладнання для фільтрації повітря. Також потрібні стимули для іноземних інвестицій у модернізацію підприємств, а екологічний контроль має бути

посилений. Наприклад, встановлення субсидій чи податкових пільг для підприємств, які інвестують у фільтраційні системи, могло б сприяти зменшенню концентрації пилу і поліпшенню умов праці на підприємствах деревообробної галузі.

1.5. Наукові дослідження утворення та зниження пилу в деревообробній галузі

Деревообробна галузь характеризується значними викидами пилу на різних етапах обробки деревини. Пил у цій сфері є не лише небезпечним для здоров'я працівників, але й може призвести до зниження якості продукції та збільшення витрат на обслуговування обладнання. У сучасній науковій літературі питання утворення пилу та його зниження розглядаються з різних аспектів: від технологічних рішень до застосування засобів пиловидалення та впливу на здоров'я.

Дослідження пилоутворення на деревообробних підприємствах проводяться на протязі багатьох десятиліть – це свідчить, що питання актуальне давно, але його вирішення складне і багатогранне.

Джерела пилоутворення та його характеристика добре описані у роботах Бородкіна А.В. (2017) та Ткаченка О.В. (2019). Ці автори детально аналізують основні процеси, які сприяють утворенню пилу на різних етапах обробки деревини, включаючи розпилювання, шліфування та фрезерування. У їхніх дослідженнях представлено типові розміри частинок пилу, що утворюються під час різних технологічних операцій, та відзначено, що найдрібніший і найнебезпечніший пил утворюється під час шліфування деревини. Наприклад, у роботі Ткаченка підкреслюється, що частинки пилу розміром менше 2,5 мкм можуть легко потрапляти в легені людини, що підвищує ризик респіраторних захворювань.

Методи зниження запиленості на виробництві описані в роботах Сидоренка І.М. (2018) та Руденка М.В. (2020) досліджуються різні методи зниження запиленості на деревообробних підприємствах. Сидоренко вказує на важливість використання систем локальної витяжної вентиляції, які дозволяють захоплювати пил безпосередньо на робочому місці. У своїй роботі він детально описує ефективність циклонних фільтрів для уловлювання великих частинок пилу, що утворюються під час розпилювання. Руденко досліджує інноваційні підходи до зниження пилу за допомогою вбудованих систем пиловидалення у шліфувальні верстати. Автор зазначає, що ці системи можуть знижувати рівень запиленості до 90%.

Вплив пилу на здоров'я працівників є однією з головних проблем, пов'язаних із пилом у деревообробній галузі, є його шкідливий вплив на здоров'я працівників. Це питання детально розглядається в дослідженнях Петрова В.М. (2016) та Єрмакова Д.А. (2019). У їхніх роботах наводяться статистичні дані про респіраторні захворювання, які часто виникають у працівників деревообробних підприємств. Петров звертає увагу на важливість постійного моніторингу рівня пилу в цехах та дотримання граничнодопустимих концентрацій пилу в повітрі. Єрмаков наголошує на необхідності використання індивідуальних засобів захисту, таких як респіратори та маски, у місцях, де концентрація пилу перевищує допустимі межі.

Застосування сучасних технологій для зниження пилу є одним з основних напрямків досліджень у цій галузі. У роботах Захарченка П.С. (2020) та Мельника О.В. (2021) розглядаються новітні методи зменшення пилоутворення під час обробки деревини. Захарченко аналізує використання лазерного різання деревини, яке дозволяє повністю виключити утворення пилу під час різання, оскільки матеріал плавиться, а не ріжеться. Мельник пропонує використовувати водяну завісу для зменшення пилоутворення під час шліфування, що дозволяє зменшити кількість пилу, який потрапляє в повітря, на 80-85%.

Інженерні аспекти проектування систем пиловловлювання розглядаються у роботах Кравченка А.В. (2019) та Соколової О.П. (2022).

Кравченко акцентує увагу на важливості правильного розташування витяжних систем та розрахунку повітряних потоків для забезпечення максимальної ефективності видалення пилу. Соколова досліджує автоматизовані системи моніторингу запиленості, які дозволяють у реальному часі відстежувати концентрацію пилу та автоматично регулювати роботу вентиляційних систем залежно від рівня забруднення повітря.

Таблиця 2.1.

Огляд основних джерел літератури

Автор	Назва роботи	Основні положення
Бородкін А.В.	Джерела утворення пилу на деревообробних підприємствах	Аналіз джерел пилоутворення, розмір частинок пилу
Сидоренко І.М.	Системи вентиляції для деревообробних цехів	Огляд вентиляційних систем та їх ефективність
Руденко М.В.	Локальні засоби пиловидалення у шліфувальних процесах	Ефективність локальних систем пиловидалення
Петров В.М.	Вплив деревного пилу на здоров'я працівників	Аналіз респіраторних захворювань, викликаних пилом
Захарченко П.С.	Лазерні технології в деревообробці	Інноваційні методи обробки деревини без утворення пилу
Кравченко А.В.	Інженерні рішення для оптимізації систем пиловидалення	Інженерні рішення для поліпшення систем вентиляції та фільтрації

Висновки

Огляд літератури свідчить про те, що питання утворення та зниження пилу в деревообробній галузі є предметом багатьох досліджень. Найбільше уваги приділяється системам вентиляції та локальним засобам пиловидалення, а також впливу пилу на здоров'я працівників. Окрім традиційних підходів, значну увагу приділяють інноваційним технологіям, таким як лазерне різання та використання інструментів з вбудованими системами пиловидалення.

Дуже мало уваги в наукових роботах приділено способам використання вловленого деревного пилу.

1.6. Проблеми із законодавчим контролем

Україна має нормативи щодо концентрації пилу в повітрі, подібні до європейських стандартів, але їхній рівень дотримання залежить від можливостей підприємств та регіональних особливостей. Відповідно до українського законодавства, допустимий рівень пилу для робочої зони становить 2 мг/м³ для дрібнодисперсного пилу. Проте в реальності багато підприємств, особливо малих та середніх, не мають фінансової можливості встановити дорогі фільтраційні системи, що призводить до перевищення норм

Для покращення ситуації Україні необхідні державні програми, спрямовані на підтримку малого та середнього бізнесу у придбанні сучасного обладнання для фільтрації повітря. Також потрібні стимули для іноземних інвестицій у модернізацію підприємств, а екологічний контроль має бути посилений. Наприклад, встановлення субсидій чи податкових пільг для підприємств, які інвестують у фільтраційні системи, могло б сприяти зменшенню концентрації пилу і поліпшенню умов праці на підприємствах деревообробної галузі.

Отже, ситуація з пиловими викидами в деревообробній галузі України залишається актуальною і потребує значної уваги з боку держави та приватного сектору.

Наукові дослідження проблеми деревного пилу охоплюють кілька ключових напрямків, кожен із яких спрямований на зменшення негативного впливу пилу на здоров'я, ефективність виробничих процесів та навколишнє середовище.

1.7. Висновок з розділу

- Ситуація з пиловими викидами в деревообробній галузі України залишається актуальною і потребує значної уваги з боку держави та приватного сектору.
- Наукові дослідження проблеми деревного пилу охоплюють кілька ключових напрямків, кожен із яких спрямований на зменшення негативного впливу пилу на здоров'я, ефективність виробничих процесів та навколишнє середовище.
- Пил в деревообробній промисловості утворюється на різних стадіях виробничого процесу: розпилюванні, шліфуванні, поліруванні, сушінні та транспортуванні деревини.
- Інтенсивність залежить від породи деревини, вологості, технологічного обладнання та умов виробництва. Деякі види деревини (наприклад, дуб чи горіх) виділяють більше пилу.
- Високий рівень пилу призводить до додаткових витрат на очищення, погіршує якість повітря на підприємстві, що може спричиняти корозію та зношення обладнання.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛОВЛЮВАННЯ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ

2.1. Порівняльний аналіз використовуваних пиловловлювачів

На основі аналізу відомих конструкцій сепараторів та практичного досвіду експлуатації циклонів виявлено чинники, які впливають на процес уловлення пилу в циклонах.

До них відносять: фізико-хімічні та морфометричні параметри пилу, розміри апарата, конструктивне вирішення апарата та окремих його вузлів, а також режими очищення потоку повітря у циклоні.

Питома вага та фракційний склад пилу значною мірою визначають ступінь ефективності роботи циклонів: чим крупніші і важчі частинки пилу,

тим ефективніше вони вловлюються в циклоні [14, 31]. Зі зростанням початкової концентрації пилу ефективність сепарації зростає [32]. Вологість пилу значно впливає на ефективність очищення: вологі частинки швидше коагулюють у пилові агрегати, внаслідок чого збільшується їхня маса. Тому зі зростанням вологості їх ефективність зростає [12, 16].

Швидкість входу пилогазового потоку через вхідний патрубок суттєво впливає на ефективність очищення газів. Для кожної конструкції циклонів існують оптимальні діапазони швидкостей входу. Величина оптимальної швидкості потоку повітря у вхідному патрубку залежить також і від фракційного складу пилу і переважно коливається в межах 15...25 м/с. При швидкостях у вхідному патрубку вищих за 20 м/с, спостерігається незначне зростання ефективності, а далі ефективність різко спадає [7]. Суттєво, що зі збільшенням швидкості подачі пилоповітряної суміші гідравлічний опір циклона зростає за квадратичним законом, а відтак, збільшуються витрати енергії на сепарацію.

Абсолютні розміри циклона, незалежно від його конструктивних особливостей, суттєво впливають на ступінь очищення [12, 14, 33]. Вивчення ступеня очищення в геометрично подібних циклонах різних розмірів показує, що краще очищення газів досягається в найменшому з них. Із зменшенням діаметра циклона зменшується ширина вхідного патрубку, й, відповідно, відстань, яку частинки пилу повинні подолати, щоб досягнути стінки циклона. Крім того, зі зменшенням діаметра циклона збільшується кутова швидкість руху газового потоку в сепараційній зоні (вхідна швидкість газів в циклоні під час зміни його розмірів залишається постійною). Відповідно, зростають сили, які змушують частинки рухатись в радіальному напрямку.

Експериментальні дослідження [33] показують, що зменшення відношення діаметра вихлопної труби до діаметра циліндричної частини циклона веде до незначного зростання ступеня очищення при одночасному різкому зростанні коефіцієнта гідравлічного опору.

Зменшення кута розкриття конуса незначно збільшує ступінь очищення: для циклона з кутом біля вершини конуса 60° і 30° ступінь очищення відповідно складає 74 і 78 % [33].

Із збільшенням висоти циліндричної частини циклона ступінь очищення незначно зростає [7]. Дослідження показали, що оптимальна висота циліндричної частини корпусу циклона складає 1,6 діаметра і дорівнює висоті його конусної частини. В порівнянні з циклонами з конічним корпусом, циклон, корпус якого має циліндричну частину, володіє меншим гідравлічним опором. Застосування таких циклонів в промисловості дає економічний ефект за рахунок зменшення витрат електроенергії, що в даний час є дуже актуальним, тому основною характеристикою циклонів є відношення ефективності їх роботи до енерговитрат.

Необхідно відзначити взаємний зв'язок окремих конструктивних елементів циклона на ступінь очищення. Так, наприклад, при значній висоті циліндричної частини корпусу величина кута розкриття конуса менше впливає на ступінь очищення, ніж коли висота циліндричної частини корпусу невелика. В різних конструкціях циклонних апаратів зміна співвідношення окремих деталей має різний вплив на ступінь очищення [28].

Внаслідок інтенсивного обертання повітряного потоку в циклоні статичний тиск зменшується від периферії до центру апарата, та ж картина спостерігається у бункері.

Підсмоктування повітря в будь-якій точці бункера різко погіршує ступінь очищення [7, 16]. За таких обставин в бункері виникає вторинний рух повітря назустріч пилу, що осідає, і частина вловленого пилу виноситься висхідним вихором у вихлопну трубу. Підсмоктування близько 10-15 % об'єму газів, що очищуються, зводить до нуля ефективність роботи апарата. Перевірка герметичності всієї системи є обов'язковою умовою при монтажі і підготовці установки до роботи. Ця вимога експериментально доведена результатами випробувань двох циклонів, приєднаних до одного бункера [4, 29, 31]. Для всіх одиночних циклонів бункери виконуються циліндричної форми, причому діаметри бункерів приймаються відносно діаметра апарата в співвідношенні

1,5D, 1,1-1,2D, відповідно для циліндричних і конічних циклонів. В деревообробці за умови невисоких швидкостей та при встановленні апарата на нагнітання, можливо забезпечити уникнення небезпеки підсмоктування за рахунок виникнення підвищеного тиску [28].

Вторинні потоки мають великий вплив на ефективність циклонів [12, 16, 34] через те, що верхня частина вихору є найкоротшим шляхом для виносу пилу у вихлопну трубу. Для послаблення впливу цього потоку збільшують глибину занурення вихлопної труби [12]. Дослідження [28, 31] показали, що із збільшенням глибини її занурення дійсно спостерігається підвищення ефективності, пов'язане із зменшенням виносу пилу, який не встиг за умови меншого занурення перейти із шарів повітря, яке опускається вздовж вихлопної труби вторинною течією, у більш віддалені шари. З подальшим зануренням ефективність знову падає.

Більш детальні дослідження [32] показали, що для кожної схем циклонів існує оптимальна глибина занурення вихлопної труби. Нижче вихлопної труби від основної маси потоку, що опускається, поступово відокремлюються внутрішні шари, і весь об'єм повітря переходить із низхідного потоку у висхідний. За сприятливих умов ці шари очищені від пилу, а концентрація пилу в пристінних шарах, що опускаються, зростає. Якщо вихлопна труба занурена глибоко, висота ділянки, на якій проходить перетік повітря з низхідного потоку у висхідний, зменшується, швидкості перетоку зростають, відповідно збільшується захоплення осадженого пилу і ККД зменшується.

Порушення потоку, що обертається у вихлопній трубі, призводить до зниження його обертів в центральній частині корпусу, тому застосування на вході у вихлопну трубу пристроїв для розсікання потоку значно знижує ефективність пилоуловлення [30]. Ефективною є конусоподібна форма вихлопної труби, але це збільшує гідравлічний опір циклона [12].

Значний вплив на ефективність має стік повітря до центра циклона, який спостерігається по всій його висоті і особливо в конусній частині [12, 35]. Радіальні доцентрові складові швидкості перешкоджають сепараційному руху

частинок до периферії, визначаючи своєю величиною розміри частинок, які будуть винесені ними у вихлопну трубу циклона.

Збільшення висоти конусної частини сприяє більшій рівномірності розподілу швидкості стоку [36]. Значний вплив на ефективність циклонів має радіальний стік в самому нижньому перерізі циклона - на поверхні вже осадженого пилу в бункері. Донна течія, яка тут виникає, розмиває відкладений пил і перемішує його до осі. Збурений пил підхоплюється осьовим потоком і через вихлопну трубу виноситься з циклона.

Проаналізовані нами переваги циклонів подані в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Переваги циклонів

1	надійність функціонування за температур газів до 500 °С без будь-яких конструктивних змін;
2	висока стійкість при уловленні абразивних матеріалів;
3	відсутність побічних продуктів (наприклад шламу), які вимагають додаткової утилізації;
4	значна пропускна здатність;
5	простота конструкції; "
6	підвищення запиленості газів не приводить до зниження фракційної ефективності очищення;
7	прості в експлуатації та не вимагають додаткових трудозатрат на обслуговування;
8	відсутність рухомих частин.

Основні недоліки циклонів:

- їх ефективність є недостатньою при уловленні дрібнодисперсного деревного пилу.

- Зважаючи на щоденне зростання екологічних вимог до викидів промислових підприємств, необхідно впроваджувати технології, які б забезпечували нормативи щодо пилових викидів в атмосферу.
- Ця проблема сьогодні вирішується за рахунок встановлення кількох ступенів очищення — поєднання циклонів та рукавних фільтрів
- така система характеризується значним гідравлічним опором і суттєво впливає на показники витрат енергії на знепилення.

2.2. Ефективність впровадження вихрових пиловловлювачів для зниження концентрації пожежонебезпечного пилу при обробці деревини

Представляємо результати дослідження ефективності впровадження модифікованих моделей вихрових пиловловлювачів для зниження концентрації пожежонебезпечного пилу на деревообробних підприємствах. Описано експериментальне визначення інтенсивності пиловиділення під час роботи деревообробного обладнання. Нам вдалося створити нову модель пиловловлювача ефективність пиловловлення якого перевищує ефективність найпоширеніших моделей до 18 %. Це дає змогу знизити концентрацію та накопичення горючого пилу, що в свою чергу обмежує поширення пожеж в повітроводах вентиляції і створює умови для успішного гасіння.

На сьогодні найбільш поширені пиловловлювачі, які призначені для відбору пилу під час роботи деревообробного обладнання, не забезпечують якісної очистки повітря від пожежонебезпечного пилу. Накопичення пилу на поверхні обладнання, у повітроводах систем вентиляції призводить до утворення горючого навантаження і при загорянні сприяє швидкому розповсюдженню полум'я по усій будівлі. Постановка завдання. Найбільшу кількість відходів, які утворюються під час роботи верстата КМ-40 вдається вловити у випадку оснащення його вбудованим місцевим відсмоктувачем, розташованим безпосередньо в місці небезпечних виділень, який далі під'єднаний до вентиляційної установки. Цей приймач є конструктивним елементом деревообробного верстата, і має прилади автоматичного контролю за його роботою. Найважливішим елементом цієї системи пиловловлення є

апарат для очистки повітря, завданням якого є зниження концентрації пожежонебезпечного пилю. Встановлений в існуючій установці циклон ЦН-11 не в змозі задовольнити ті завдання, які стоять перед нею сьогодні – знизити викиди пилю до норм ГДК, ГДВ, тому нагальним є питання створення принципово нової конструкції пиловловлювача, здатного покращити ефективність пиловловлення. Завданням нашого дослідження є доведення викидів, які утворюються під час роботи деревообробного комбінованого верстата, до граничнодопустимих норм. Виклад основного матеріалу. Для вирішення цього завдання необхідно визначити в промислових умовах параметри пилю: інтенсивність, пиловміст і дисперсний склад. Комбінований верстат К40М призначений для виконання у різних комбінаціях операцій повздовжнього стругання, пиляння, фрезерування, свердління, пазування і шліфування. Верстат укомплектований пристосуванням для заточування ножів. Інтенсивність (кількість пилю, що утворюється за одиницю часу) при різних операціях деревообробки різна. В таблиці 1. наведені результати нашого експериментального визначення інтенсивності пиловиділення під час роботи деревообробного комбінованого верстата К40М. Деревообробка на комбінованому верстаті К40М містить велику кількість технологічних операцій під час яких утворюється пил різних розмірів, у табл. 2. наведений дисперсний склад пилю, що утворюється при різних процесах деревообробки на наведеному верстаті

Таблиця 1

Інтенсивність пилоутворення під час роботи деревообробних верстатів

Назва операції	Інтенсивність утворення пилю, кг/год	
	Загальна	Розміром меншим за $2 \cdot 10^{-4}$ м
Стругання	650-330	165-85
Фрезерування	52-25	10-6
Свердління	35-25	7,2-5,1
Торцювання	83-85	31-12
Пиляння	72-31	25-10,5
Шліфування	53-19	51-17
Фугування	108-45	26-11

Дисперсний склад експериментального пилю деревини

Тип пилю	Порода деревини	Операція	Дисперсний склад пилю, 10 ⁻⁶ м				
			200-100	100-75	75-53	53-40	<40
A	Ясен	Шліфування	10,73	24,28	20,26	13,54	31,19
B		Пиляння	16,42	68,31	10,44	2,67	2,16
C		Фрезерування	40,77	52,40	4,10	2,13	0,6
D		Свердління	48,92	44,57	3,23	2	1,28
E		Фугування	56,04	36,66	3,93	1,96	1,41

Схема системи знепилення верстата наведена на рис.2.1. Принцип дії цієї схеми такий: пил, який утворюється під час роботи верстата, забирається місцевими відсмоктувачами 2 безпосередньо з місць надходження і подається по трубопроводах 3 до пиловловлювача 4, звідки збирається в бункері (на рис.1. не показаний). Система працює в режимі нагнітання, яке здійснюється за допомогою відцентрового вентилятора високого тиску 5. Нами прийнято рішення замінити в існуючій схемі системи пиловловлення циклон ЦН11 на модифікований вихровий пиловловлювач третього типу, не змінюючи при цьому схему знепилення (рис.1).

2.3. Експериментальне дослідження модифікованого типу пиловловлювача та отримані результати

Схема встановлення вихрового пиловловлювача наведена на рис. 2.1 [3]

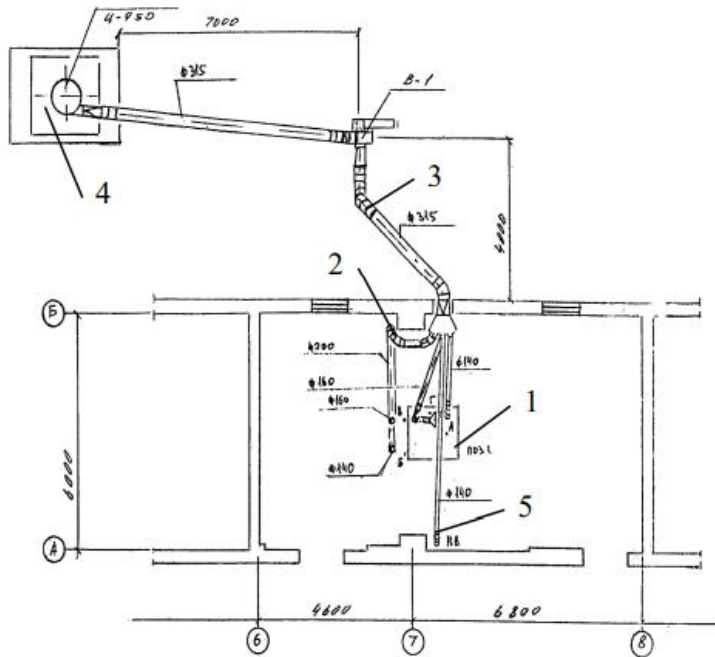


Рис. 2.1. Схема системи знепилювання верстата:

1 – К40М верстат; 2 – відсмоктувачі місцеві; 3 – трубопровід; 4 – пиловловлювач вихорний; 5 – генератор

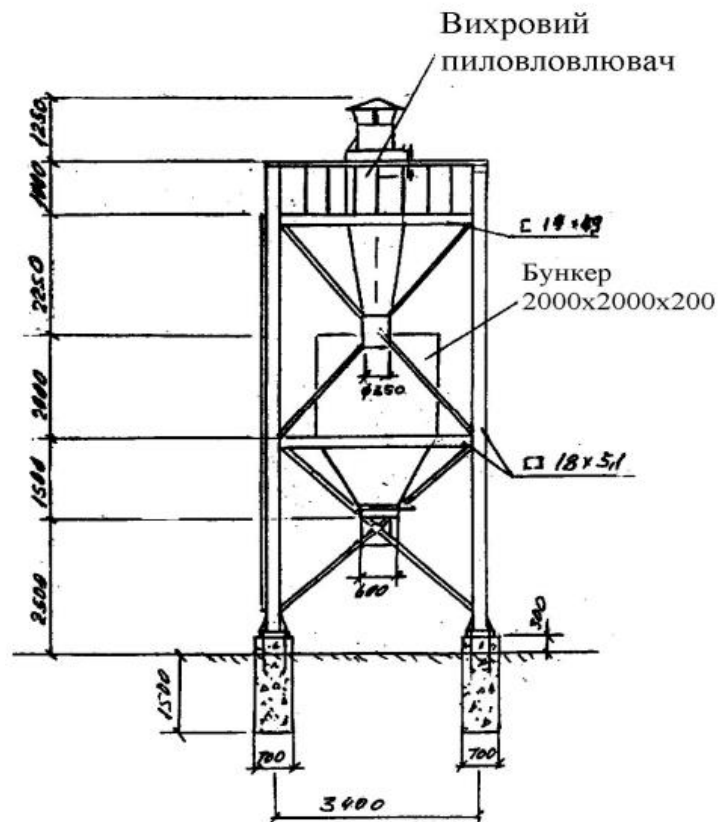


Рис.2.2. Схема встановлення вихрового пиловловлювача

На рис. 2.3- 2.4 наведено залежність ефективності пиловловлення від витрат повітря, для дисперсного складу пилю ясена типу А, В, С (табл.3) які отримані

на дослідно-промисловій установці деревообробного комбінованого верстата К40М.

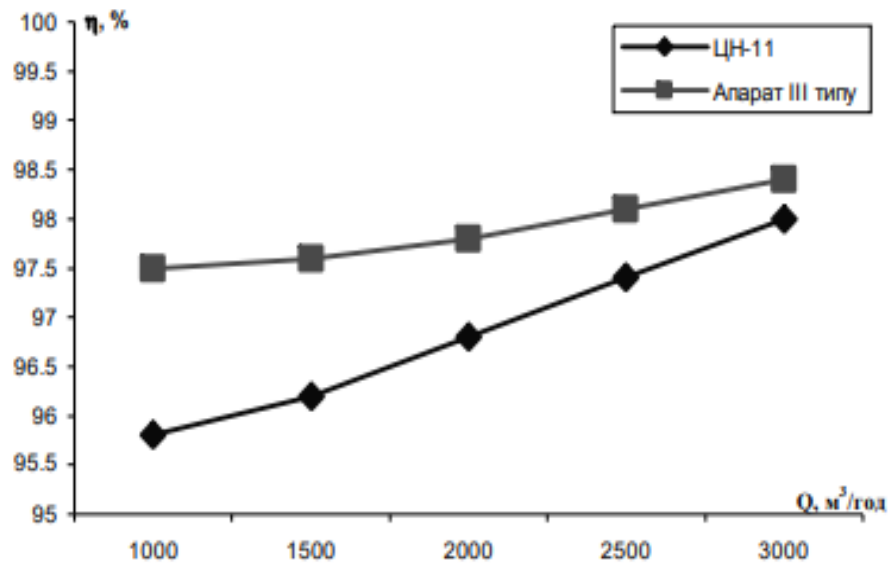


Рис. 2.3. Залежність ефективності вловлення від витрат повітря для пилу типу А ($\delta_{50}=50 \cdot 10^{-6}$ м)

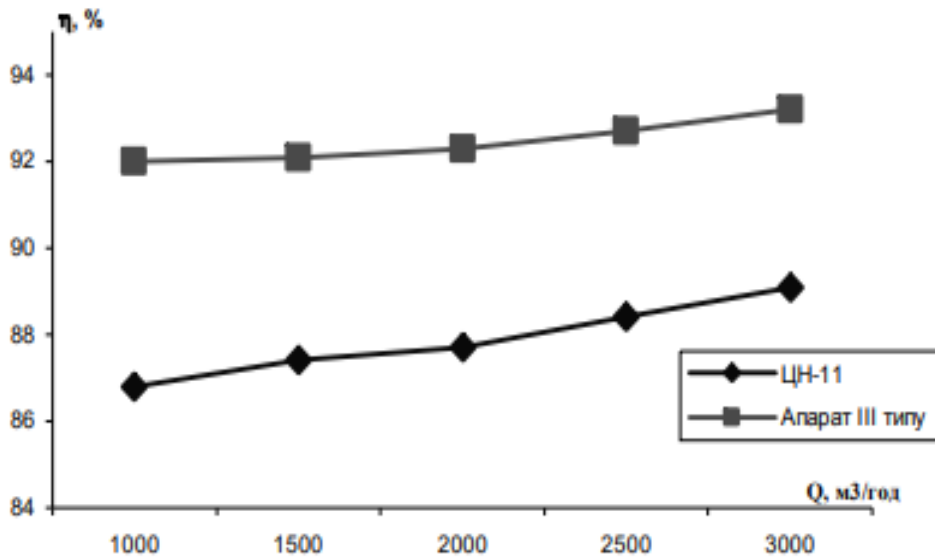


Рис.2. 4. Залежність ефективності вловлення від витрат повітря для пилу типу В ($\delta_{50}=16 \cdot 10^{-6}$ м)

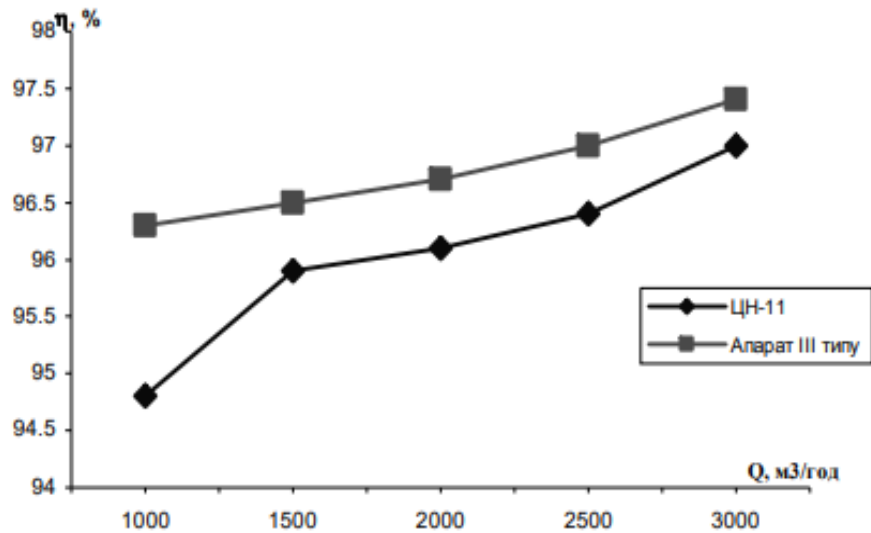


Рис. 2.5. Залежність ефективності вловлення від витрат повітря для пилу типу С ($\delta_{50}=32 \cdot 10^{-6}$ м)

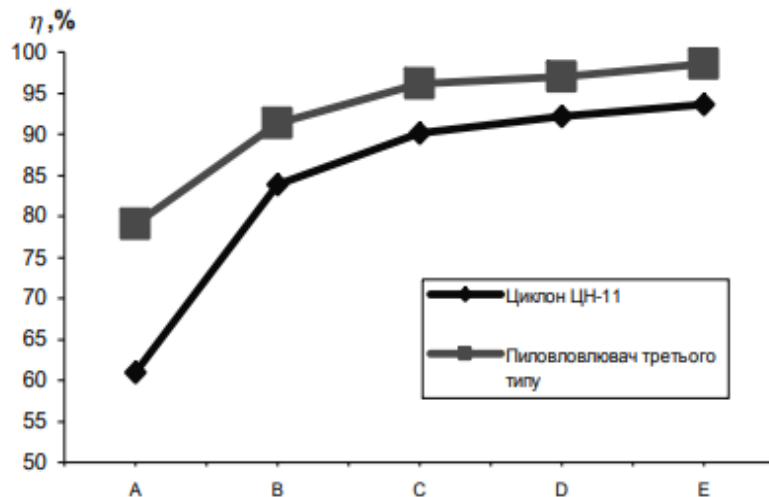


Рис.2. 6. Залежність ефективності пиловловлення від дисперсного складу пилу при оптимальній швидкості руху потоку у вхідному патрубку

2.4. Розрахунок ефективності пиловловлювача

Ефективність пиловловлювачів визначається за формулою:

$$\eta = \frac{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}{C_1 Q_1} \cdot 100,$$

Де:

C_1, C_2 – кількість пилу, який був вловлений фільтрами зовнішньої фільтрації, відповідно на вході та виході з пиловловлювача, м³/год;

Q_1, Q_2 – кількість повітря, яке пройшло через забірні трубки до і після пиловловлювача, м³/год.

Кількість пилу в повітроводі визначається за формулою:

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{Q_\phi t}, \text{кг} / \text{м}^3$$

Де:

q_1, q_2 – вага фільтра з пилом і чистого, кг;

Q_ϕ – об'ємна швидкість (витрати) прокачування пилоповітряної суміші через фільтр, м³/год;

t – час відбору проб, год.

Точність аналітичної ваги – 0,01 мг.

Час проведення дослідів визначається за формулою:

$$t = \frac{a_p - 1000}{C_0 Q}, \text{год}$$

Де:

a_p – мінімально необхідна наважка пилу на фільтрі, кг;

C_0 – концентрація пилу, кг/м³ ;

Q – витрати повітря в стенді, м³/год.

Розрахункову концентрацію пилу C_p визначили за формулою:

$$C_p = \frac{M_n}{Q_t}, \text{кг} / \text{м}^3$$

Де:

M_n – маса пилу, яку засипали в бункер, кг;

Q – витрати повітря через пиловловлювач, м³/год;

T – час дослідів, год.

Ефективність роботи пиловловлювача збільшується при збільшенні витрат повітря у дослідно промисловій установці, причому її різке підвищення відбувається при значних витратах повітря 2500-3000 м³/год, що відповідає швидкості входу пилоповітряної суміші в апарат рівній 20-25 м/с. Подальше підвищення витрат повітря економічно невиправдано, оскільки при цьому

значно зростають енерго- та металовитрати, а ефективність роботи апарата практично збільшується незначно. Для вихрового пиловловлювача ця швидкість є оптимальною, яка визначена дослідно-промислові дослідження пиловловлювача третього типу [4].

На рис.2.6. показано залежності ефективності пиловловлювача третього типу для пилу різного дисперсного складу, який утворився під час різних процесів обробки деревини при оптимальній швидкості входу потоку в апарат (20-25 м/с). Наведені залежності доводять, що циклон ЦН-11 має суттєво низьку ефективність роботи при очищенні дрібнодисперсного пилу. Висока ефективність роботи запропонованої конструкції пиловловлювача пояснюється такими факторами:

1. Завдяки наявності жалюзійного відокремлювача частина кінетичної енергії, яка виникає в циклонах ЦН-11 внаслідок удару частинки пилу до поверхні жалюзі, гаситься.

2. Турбулізація пристінного шару пилу зменшує аеродинамічні сили, що пов'язані з захопленням частинок пилу з приповерхневого шару, швидкість якого близька до нуля, шарами потоку ближчими до осі апарата. Доведено, що поблизу стінки корпусу апарата існує вертикальна складова пульсаційних швидкостей, внаслідок дії якої частинки захоплюються потоками повітря, що підіймається, одержуючи при цьому більший імпульс, ніж частинки які рухаються до стінки корпусу. Таким чином встановлюється процес турбулентного переносу (дифузія), який переміщує (здуває) частинки від стінки корпусу у напрямку до відокремлювача.

3. Поблизу зовнішньої частини корпусу апарата виникає радіальний потік, спрямований в бік жалюзійного відокремлювача, який направляє дрібнодисперсні частинки пилу просто на площину жалюзі відокремлювача.

4. Підсмоктування повітря через жалюзійний відокремлювач призводить до виникнення радіального стоку, спрямованого до осі апарата, який руйнує вихрові потоки та турбулентні завихрення, що заважають ефективній роботі апарата на дрібнодисперсному пилу.

Результати експериментальних досліджень довели, що при низькому гідравлічному опорі запропонований пиловловлювач здатний ефективно (рис. 2) очищувати повітря від пилу деревини при швидкості повітря у вхідному патрубку 20-25 м/с, що дозволяє використовувати його в аспіраційно-повітроочисних системах з регульованою продуктивністю. Тому ми розробили новий тип такої системи з широким діапазоном регулювання продуктивності, де в якості апарата пиловловлення використаний запропонований пиловловлювач [6]. Для оцінки ефективності очищення повітря у впроваджененого вихрового пиловловлювача використовуємо рівняння: [4]

$$d = \sqrt[3]{\frac{\mu ab}{\pi \rho Q (1 - q)} \left(\frac{R_1 - R_2}{n_{об}} - \frac{qab}{H(1 - q)} \right)}$$

Де:

d – діаметр частинок пилу вловлений в апараті, м;

a, b – висота та ширина вхідного патрубку апарата, м;

ρ – густина частинок пилу, кг/м³;

Q – продуктивність циклона м³/год;

R_1 – радіус корпусу апарату, м;

R_2 – радіус вихлопної труби виходу очищеного повітря, м;

μ – динамічна в'язкість повітря ;

H – висота циліндричної частини апарата, м;

q – продуктивність очищення ($=Q_1$);

$n_{об}$ – кількість обертів, що здійснює частинка в апараті (приймається 2-3 оберти);

$D_{рч}$ – середній діаметр траєкторії руху частинки,

$$D_{рч} = R_1 + R_2$$

Як показують практичні дослідження, реальні значення діаметрів частинок пилу вловлені в апараті є дещо збільшеними, що пов'язане з явищами турбулентності потоку, формою частинок пилу тощо. Тому наведене рівняння ми використовували не для оцінки ефективності роботи апарата, а для оцінки

конструкції апарата при його конструюванні. Тобто результати дослідження доводять, що ефективність роботи впровадженого вихрового пиловловлювача дозволяє знизити викиди столярного відділення [5].

2.5.Висновки з розділу

1. Аналіз стану вивчення проблеми вловлення пилу деревини під час роботи деревообробного комбінованого верстата К40М довів, що на сьогодні не існує системи пиловловлення, здатної високоефективно вловити дрібнодисперсний пил і довести його викиди до граничнодопустимих норм. Тому запропонована пиловловлююча система у якій в якості апарата для очистки повітря від пилу використаний вихровий апарат третього типу, запропонований замість встановленого в існуючій установці циклону ЦН-11.

2. Експериментальні дослідження реконструйованої установки дозволяють говорити про значне (до 18%) підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу (тип А) у запропонованій системі пилоочистки при тому, що вловлення грубодисперсного пилу (В, С, D, Е) виросло на 4-7%, а це відкриває широкі перспективи для впровадження запропонованої конструкції для деревообробного комбінованого верстата К40М.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЕРЕХОДУ ВІД КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДО РЕГЕНЕРАТИВНОГО РОЗВИТКУ

3.1. Суть концепції регенеративного розвитку

Хоча концепції сталого розвитку та регенеративного підходу мають спільну мету - забезпечення довгострокового благополуччя людства та планети, між ними країни суттєвих відмінностей:

Основні відмінності

Фокус та цілі

Сталий розвиток спрямований на задоволення потреб сучасного покоління без шкоди для майбутніх поколінь

Його мета - встановити баланс між економічним зростанням, соціальним добробутом та захистом довкілля.

Регенеративний підхід йде далі, прагнучи не просто підтримувати, а відновлювати та покращувати природні системи. Він націлений на створення позитивного впливу, а не лише мінімізацію негативного.

Ставлення до ресурсів

Сталий розвиток зосереджується на ефективному використанні ресурсів та мінімізації витрат.

Регенеративний підхід розглядає відходи як ресурс і прагне створити закриті цикли, де все повторно використовується.

Взаємодія з природою

Сталий розвиток намагається зменшити негативний вплив людської діяльності на довкілля.

Регенеративний підхід прагне інтегрувати людську діяльність у природні процеси, сприяючи їх відновленню та покращенню.

Практичне застосування

У сільському господарстві:

Стале землеробство фокусується на зменшенні використання пестицидів та збереженні родючості підстав.

Регенеративне сільське господарство активно відновлює екосистеми, покращує біорізноманіття та секвестрацію вуглецю в обґрунтуванні.

У бізнесі:

Сталий бізнес прагне мінімізувати негативний вплив на вашу діяльність.

Регенеративний бізнес намагається створити позитивний вплив на суспільство та довкілля через свою основну діяльність.

Хоча обидві концепції важливі для майбутньої планети, регенеративний підхід представляє собою більш амбітну та всеохоплюючу парадигму, яка може стати наступним етапом еволюції після сталого розвитку.

Регенеративний розвиток базується на кількох ключових принципах, які відрізняють його від традиційних підходів до старого розвитку:

Основні принципи регенеративного розвитку

Відновлення екосистем

Активне відновлення та покращення природних систем, а не просто мінімізація шкоди.

Створення позитивного впливу на довкілля через людську діяльність.

Циркулярність ресурсів

Впровадження закритих циклів використання ресурсів.

Розгляд відходів як цінного ресурсу для повторного використання

Холістичний підхід

Розуміння взаємозв'язків між іншими елементами системи.

Прагнення до синергії між економічними, соціальними та екологічними аспектами.

Біомімікрія

Наукове дослідження природних процесів та циклів у людській діяльності.

Прагнення інтегрувати людські системи в природні екосистеми.

Здоров'я ґрунту

Фокус на відновлення та покращення якості обґрунтувань.

Збільшення вмісту органічних речовин та підтримка обґрунтованої біоти

Біорізноманіття

Активне сприяння збільшенню різноманітності видів.

Створення умов для процвітання різних форм життя.

адаптивність

Гнучкість та здатність пристосуватися до змін.

Розвиток стійкості системи до зовнішніх впливів.

Регенеративний розвиток прагне не просто активно зменшувати негативний вплив людської діяльності, а створювати системи, які покращують стан довкілля та суспільства. Це більш амбітний та всеохоплюючий підхід, який може стати наступним етапом еволюції після концепції сталого розвитку.

Вловлювання пилу в деревообробній промисловості виконує важливу роль не тільки для якості виробництва, але й для здоров'я працівників та навколишнього середовища. Хоча прямих даних про вплив цього процесу на регенеративний розвиток у наданих результатах пошуку немає, можна зробити деякі логічні висновки.

Вплив на здоров'я працівників

Ефективне вловлювання пилу в деревообробці має позитивний вплив на здоров'я робітників. Дихальна система людини має природні механізми захисту від пилу та інших забруднювачів повітря. Слизова хвороба дихальних шляхів вкрита шаром слизу на водній основі, яка продовжує вловлювати та частки пилу.

Однак, при постійному впливі великої кількості деревного пилу, ці природні механізми можуть перевантажуватися.

Регенеративні процеси

Зменшення кількості пилу в повітрі робочої зони може сприяти більш ефективній роботі природних регенеративних процесів енергії:

Відновлення епітелію дихальних шляхів : При меншому навантаженні пилом клітини епітелію можуть краще відновлюватися та підтримувати свою захисну функцію.

Функціонування імунної системи : Зниження рівня забруднення повітря може покращити роботу імунної системи, яка є ключовою роллю в регенеративних процесах.

Загальне здоров'я організму: Чистіше повітря сприяє кращому загальному стану здоров'я, що може позитивно вплинути на всі регенеративні процеси в організмі.

Екологічний аспект

Ефективне вловлювання пилу також має позитивний вплив на навколишнє середовище, що опосередковано може сприяти регенеративним процесам у природі:

Змінення забруднення повітря

Зниження ризику респіраторних захворювань у населення прилеглих територій

Покращення загального екологічного стану довкілля

Таким чином, хоча прямого зв'язку між вловлюванням пилу в деревообробці та процесами регенеративного розвитку не встановлено, можна припустити, що це має позитивний вплив на здоров'я працівників та навколишнє середовище, що у своєму процесі може сприяти більш ефективним регенеративним процесам як у організмі людини, так і в природі загалом.

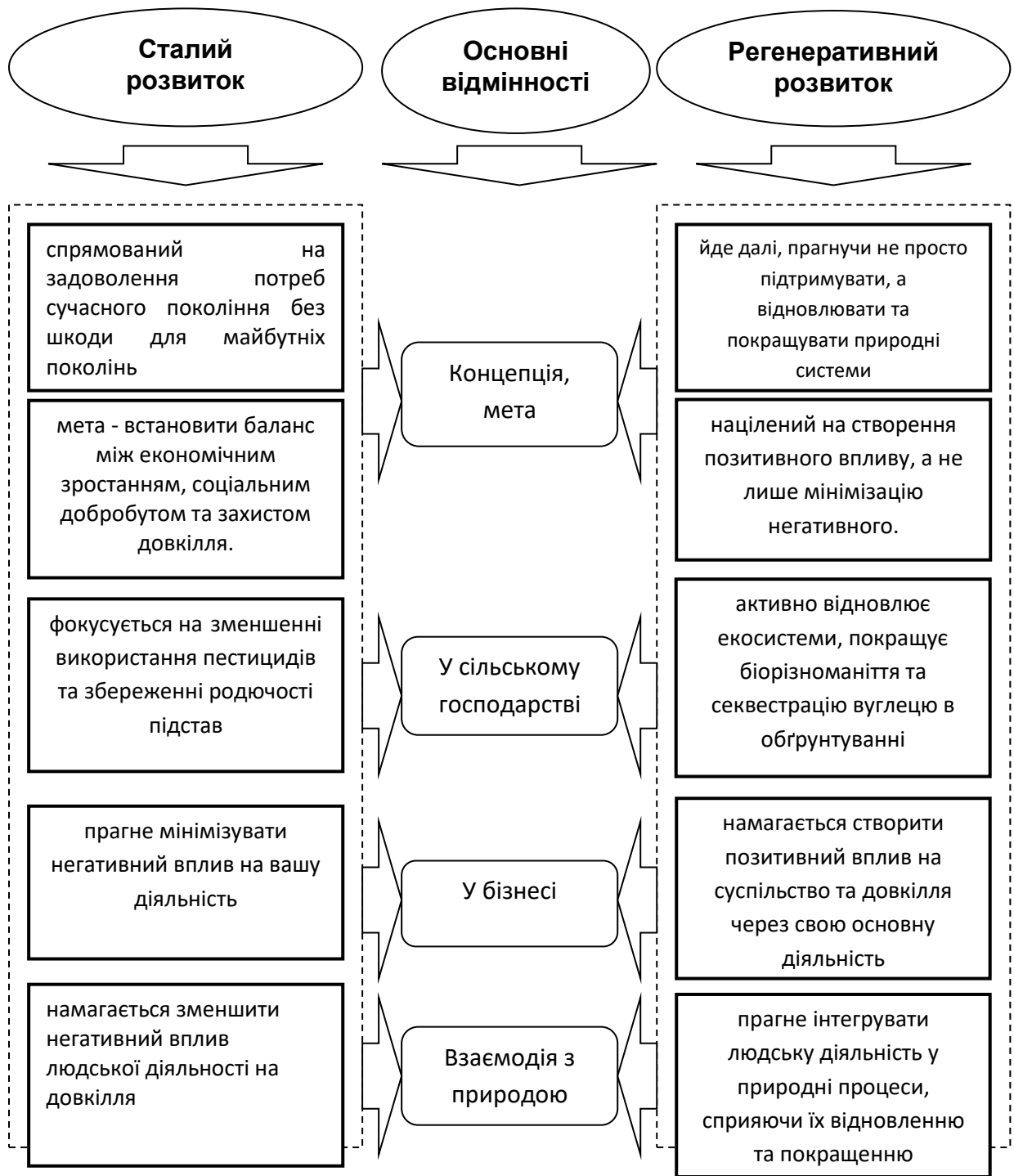


Рис. 3.1. Схема грошових потоків підприємства

3.2. Аналіз сфер використання деревного пилу

Актуальність дослідження використання деревного пилу полягає в значному загальному обсягу утворення деревного пилу на виробництвах та проблемах утилізації пилу та його впливу на довкілля. А також є потреба пошуку економічно вигідних та екологічних варіантів використання.

Мета дослідження:

- Оцінити можливі напрямки використання деревного пилу на основі його фізико-хімічних властивостей, зокрема, дисперсності.
- Проаналізувати найбільш перспективні галузі та виробничі процеси, де пил може знайти застосування.

3.3. Загальний обсяг утворення деревного пилу на виробництві

Деревний пил є одним із основних відходів, які знаходяться під час обробки деревини на деревообробних підприємствах. Його обсяг може варіюватися у зв'язку з типом виробництва, технологією обробки та використовуваних матеріалів.

У деревообробній промисловості основними джерелами утворення деревного пилу є:

Розпилювання: Процес розпилювання деревини на дошки та інші вироби може до значної кількості пилу. Згідно з даними [3], під час розпилювання може утворюватися до 20% відходів у вигляді пилу.

Подрібнення: При подрібненні деревини для виробництва тріски або стружки також утворюється пил. Цей процес може генерувати близько 15-25% пилу від загального обсягу обробленої деревини.

Шліфування: Шліфування поверхні дерев'яних виробів є ще одним етапом, що значно збільшує утворення пилу, особливо дрібного.

Загальний обсяг утворення деревного пилу на деревообробних підприємствах становить:

За даними досліджень, в Україні щорічно виробляється близько 5 мільйонів м³ деревини, з яких близько 500 тисяч тонн можуть перетворитися на пил.

Це означає, що приблизно 10% від загального обсягу обробленої деревини стає пилом.

У всьому світі, за оцінками, щорічно в деревообробній промисловості виробляється близько 200 мільйонів тонн деревного пилу. Це число включає всі види деревообробних процесів, включаючи меблеве виробництво та виробництво будівельних матеріалів.

Утворення великої кількості деревного пилу має серйозні екологічні наслідки:

Забруднення повітря: Деревний пил може спричинити забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я людей і навколишнє середовище. Пил містить шкідливі речовини, які можуть викликати респіраторні захворювання

Викиди в атмосферу: Під час спалювання деревного пилу або його неконтрольованого скидання в атмосферу можуть виникати небезпечні викиди, які сприяють зміні клімату та забрудненню повітря.

3.4. Проблеми утилізації пилу та його вплив на довкілля

Для зменшення обсягів утворення деревного пилу та його негативного впливу на довкілля застосовуються різноманітні технології: встановлення ефективних систем збору та фільтрації пилу на виробництві дозволяє зменшити його викиди в атмосферу; оптимізація технологічних процесів шляхом використання сучасних технологій обробки деревини може суттєво зменшити кількість утвореного пилу, наприклад, шляхом використання автоматизованих верстатів. Загалом, управління утворенням деревного пилу є важливою складовою сталого розвитку деревообробної промисловості, що потребує комплексного підходу до технологій і екологічної безпеки.

Утворення деревного пилу є невід'ємною частиною деревообробних процесів, але його утилізація та вплив на довкілля викликають серйозні проблеми. Деревний пил не тільки є відходом, але й може мати негативні наслідки для здоров'я людей і навколишнього середовища.

Деревний пил утворюється в значних обсягах під час обробки деревини. Наприклад, при розпилюванні колод може утворюватися до 35% відходів у вигляді пилу

Утилізація пилу є складною через його фізичні характеристики. Деревний пил має малий розмір частинок, що ускладнює його збирання та переробку. Багато систем збору пилу не можуть ефективно видаляти дрібні частинки, що призводить до їх накопичення в робочих приміщеннях. Проблема і у вартості утилізації: витрати на утилізацію деревного пилу можуть бути значними. Підприємства часто стикаються з високими витратами на транспортування та обробку відходів, що може негативно вплинути на їх економічну ефективність.

Деревний пил є джерелом забруднення повітря. При його скиданні або спалюванні в атмосферу пропускають шкідливі частинки, які можуть призвести до респіраторних захворювань у людей та погіршувати якість повітря.

Під час спалювання деревного пилу також можуть вивільнитися токсичні гази. Накопичення деревного пилу на території підприємств може призвести до забруднення ґрунтів та води. Якщо пил не утилізується належним чином, він може потрапити у водоносні горизонти, що негативно впливає на екосистеми.

Одним із ефективних шляхів утилізації деревного пилу є його переробка на паливні брикети або гранули (пелети). Це лише не зменшує обсяги відходів, але забезпечує альтернативне джерело енергії

Виробництво пелет з деревного пилу стало популярним у багатьох країнах, через це екологічно чистий процес. Системи збору та очищення: Впровадження сучасних систем збору пилу та вентиляції на підприємствах допоможе зменшити викиди деревного пилу в атмосферу. Регулярне очищення робочих місць і використання фільтрів HEPA можуть значно підвищити якість повітря.

Важливим аспектом є навчання працівників безпеки деревного пилу та методів його безпечної утилізації. Це допоможе зменшити ризики для здоров'я і забезпечити більш ефективне управління відходами.

Отже, проблеми утилізації деревного пилу потребують комплексного підходу, що включає технологічні інновації, екологічну освіту та ефективне управління відходами. Зменшення обсягів деревного пилу та його переробка

можуть суттєво покращити екологічне середовище та забезпечити сталий розвиток деревообробної промисловості.

3.5. Екологічні варіанти використання відходів

Екологічні варіанти використання відходів включають:

Компостування

Компостування є одним із найбільш ефективних способів переробки органічних відходів. процес дозволяє відновити харчові залишки та садові відходи на цінне органічне добриво, яке покращує структуру обґрунтованості і робить його родючістю.

Вермикультура

Вермикультура — це метод компостування за допомогою черв'яків, який дозволяє отримувати біогумус — високоякісне органічне добриво. Метод лише не зменшує обсяги відходів, але цей й сприяє збереженню екології.

Виробництво біопалив

Переробка органічних відходів на біопаливо є ще одним перспективним напрямком. Біогаз може бути отриманий шляхом анаеробного зброджування органічних матеріалів, що дозволяє використовувати його як альтернативне джерело енергії.

Для успішного впровадження економічно вигідних та екологічних варіантів використання відходів необхідна підтримка з боку держави: законодавчі ініціативи та освіта населення

Важливо запроваджувати законодавчі ініціативи, які стимулюють переробку відходів і забороняють їх захищати на звалищах без попередньої обробки. Це може включати податкові пільги для підприємств, які займаються утилізацією.

Екологічна освіта населення є ключовим фактором у зміні ставлення до використання відходів. Інформування громадськості про переваги переробки та компостування може стимулювати їх участь у цих процесах

Пошук економічно вигідних та екологічних варіантів використання відходів є завданням для сучасного суспільства. Це лише зменшить негативний вплив на довкілля, але відкриває нові можливості для економічного розвитку та

створення робочих місць. Впровадження інноваційних технологій у сферу переробки та використання відходів має стати пріоритетом для державної політики та бізнесу.

3.6. Оцінка можливих напрямків використання деревного пилу на основі його фізико-хімічних властивостей

Деревний пил є побічним продуктом обробки деревини, який часто вважається відходом. Проте, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, деревний пил може бути використаний у різних галузях промисловості. Розглянемо можливості використання деревного пилу, зокрема, з акцентом на його дисперсність та інші фізико-хімічні характеристики.

Деревний пил має ряд фізико-хімічних властивостей, які впливають на його використання (табл. 3.1)

Таблиця 3.1. Значення фізико-хімічних властивостей деревного пилу

Властивість	Опис
Дисперсність	Розмір частинок деревного пилу варіюється від мікрона до кількох міліметрів. Чим менший розмір частинок, тим більша їхня поверхнева площа.
Хімічний склад	Залежить від виду деревини; основні компоненти: целюлоза (40-50%), лігнін (20-30%), геміцелюлоза (20-30%).
Вологість	Вміст вологи впливає на фізичні властивості пилу і його схоронність. загальновологість становить 8-15%.
Щільність	Щільність деревного пилу виробляється в межах 0,1-0,5 г/см ³ залежно від породи дерева та способу обробки.
Адсорбційні властивості	Деревний пил має високу адсорбційну здатність, що робить його корисним у фільтраційних процесах.

Дисперсність деревного пилу має значний вплив на його застосування в різних галузях.

Будівництво та матеріали: дерев'яний пил може бути використаний як наповнювач у будівельних матеріалах. Композити : деревний пил може бути доданий до полімерів для виготовлення композитних матеріалів, які використовуються в меблевій промисловості. Додавання деревного пилу до бетону може зменшити його вагу та покращити теплоізоляційні властивості.

Енергетика - деревний пил можна використовувати як біопаливо. Деревний пил можна пресувати в пелети для використання в котлах і печах. Анаеробне зброджування деревного пилу може призвести до виробництва біогазу.

Деревний пил може бути використаний у сільському господарстві:

- Компостування : Деревний пил може бути доданий до компосту для покращення структури ґрунту.
- Мульчування : Використання деревного пилу як мульчі збереження вологи в ґрунті.

Екологічні аспекти використання деревного пилу полягає у позитивному екологічному ефекті від зменшення відходів : перетворення деревного пилу на корисні продукти зменшує обсяги відходів; збереження ресурсів : використання вторинних ресурсів дозволяє зменшити потребу в первинних ресурсах.

Таблиця 3.2. Виклики та перспективи використання деревного пилу

Виклик	Суть перспективи
Технічні труднощі	Можливість розробки технологій для ефективної переробки деревного пилу на різні продукти.
Економічна вигода	Вартість збору та обробки деревного пилу може перевищувати вигоди від його використання.
Регуляторні бар'єри	Необхідність дотримання екологічних норм і стандартів при використанні деревного пилу.
Зменшення відходів	Можливість розробки нових технологій

Деревний пил має великий потенціал для використання в різних галузях за рахунок своїх фізико-хімічних властивостей, зокрема дисперсності. Його переробка може лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й створити

нові економічні можливості. Для реалізації цього потенціалу необхідно подолати існуючі виклики через інновації та державну підтримку.

Аналіз найбільш перспективних галузей та виробничих процесів, де пил може знайти застосування

Деревний пил, як побічний продукт деревообробної промисловості, має великий потенціал для використання в різних галузях. Його фізико-хімічні властивості, такі як дисперсність, вологість та хімічний склад, створюють його цінним сировинним матеріалом для багатьох виробництв. В цьому документі ми проаналізуємо найбільш перспективні галузі та виробничі процеси, де деревний пил може бути ефективно використаний.

Перед тим як перейти до аналізу виробництва, важливо відзначити фізико-хімічні властивості деревного пилу (табл. 3.1)

Дисперсність пилу – одна з найважливіших характеристик. Дисперсність — це характеристика, що описує розмір частинок у матеріалі. Вона важлива для різних виробничих процесів, через порушення поведінки пилу в повітрі, його адсорбційні властивості та можливість використання в різних продуктах.

Менші частинки мають більшу поверхневу площу, що завершує їх здатність до адсорбції.

Дрібнодисперсні частинки легше підтримуються в дихальних шляхах людини, що може привести до здоров'я.

Таблиця 3.3. Вплив дисперсності на сприйняття та використання

Розмір частинок (мкм)	Опис	Використання
< 2,5	Ультрадрібні частини, небезпечні для дихальної системи	Фільтрація, медичне застосування
2,5 - 10	Дрібнодисперсні частинки, можуть впливати на здоров'я людини	Будівельні матеріали
> 10	Грубодисперсні частини, менш небезпечні	Наповнювачі в будівництві

Дисперсність впливає на те, як деревнийпил може бути використаний у різних галузях: менші частини (менше 10 мкм) підходять для медичних і фільтраційних компонентів. Більші частин (понад 10 мкм) краще використовувати як наповнювачі в будівельних матеріалах.

Деревнийпил можна класифікувати за розміром частинок на кілька основних фракцій:

Таблиця 3.4. Класифікація пилу за розміром частинок

Фракція	Розмір частинок (мкм)	Опис	Використання
Ультрадрібні частинки	< 2,5	Найменші частини, які можуть проникнути глибоко в легені	Фільтрація повітря
Дрібнодисперсні частинки	2,5 - 10	Частини середнього розміру, можуть ускладнити реакцію	Будівельні матеріали
Грубодисперсні частинки	> 10	Великі частини, які легко осідають	Наповнювачі в будівництві

Ультрадрібні частинки використовуються у виробництві фільтрів для очищення повітря.

Дрібнодисперсні частинки можна використовувати як добавки до складу будівельних матеріалів для покращення їх властивостей.

Грубодисперсні частини застосовуються як наповнювачі в бетоні або інших будівельних сумішах.

Хімічний склад деревного пилу складається з кількох основних компонентів:

- ✓ Целюлоза : основний структурний компонент деревини (40-50%).
- ✓ Лігнін : відповідає за міцність і жорсткість (20-30%).
- ✓ Геміцелюлози : допоміжні компоненти (20-30%).

Зольність деревного пилу може варіюватися залежно від виду деревини та умов обробки. Вона визначає кількість неорганічних компонентів у пилу та можливість утворення додаткового домішку під час переробки.

Таблиця 3.5. Хімічний склад деревного пилу

Компонент	Вміст (%)	Опис
Целюлоза	40 - 50	Основний компонент, що забезпечує структуру
Лігнін	20 - 30	Відповідає за міцність деревини
Геміцелюлози	20 - 30	Допоміжні компоненти
Зольність	< 5	Визначає кількість неорганічних речовин

Фізико-хімічні характеристики деревного пилу, такі як дисперсність і хімічний склад, використовують його потенціал для використання в різних галузях. Розуміння цих характеристик дозволяє ефективно використовувати деревний пил у виробництві будівельних матеріалів, енергетики та сільського господарства.



3.5 Використання деревного пилу в будівельній галузі

Деревний пил, як побічний продукт деревообробної промисловості, має значний потенціал для використання в будівельній галузі. Його можна

використовувати для виробництва деревно-полімерних композитів (ДПК), бетону, деревостружкових плит (ДСП) та фанер.

1. Виробництво деревно-полімерних композитів (ДПК) як альтернатива традиційним будівельним матеріалам

Деревно-полімерні композити (ДПК) є комбінацією деревного пилу та полімерних матеріалів, які забезпечують високу міцність і стійкість до зовнішніх впливів. Вони залишаються популярними завдяки своїм екологічним властивостям і можливості зменшення використання традиційних матеріалів.

Розмір частин деревного пилу впливає на механічні властивості ДПК. Менші частини забезпечують кращу адгезію з полімером, що забезпечує міцність композиції.

Таблиця 3.6. Вплив дисперсності пилу на міцність та еластичність композитів

Розмір частинок пилу	Міцність (МПа)	Еластичність (МПа)
< 0,5 мм	30	2000
0,5 - 1,0 мм	25	1800
> 1,0 мм	20	1600

Використання ультрадисперсного та дрібнодисперсного пилу у виробництві ДПК різняться. Ультрадисперсний та дрібнодисперсний пил використаний для покращення властивостей ДПК:

Ультрадисперсний пил підвищує адгезію та міцність.

Дрібнодисперсний пил зменшує пористість і покращує естетичні властивості.

Таблиця 3.7. Залежність фізико-механічних властивостей ДПК від розміру часток пилу

Розмір частинок (мм)	Міцність на згин (МПа)	Водопоглинання (%)
< 0,5	35	5
0,5 - 1,0	30	7
> 1,0	25	10

2. Бетон та інші композитні матеріали

Вплив пилу на покращення теплоізоляційних властивостей бетону доведено. Додавання деревного пилу до бетону може суттєво покращити його теплоізоляційні властивості за рахунок зменшення щільності матеріалу.

Деревний пил знижує теплопровідність бетону, що робить його більш ефективним у використанні в будівництві. Проводилися експерименти із заміщенням частин піску пилом при виробництві бетону. Дослідження показали, що заміщення частин піску деревним пилом може погіршити вагу бетону без значної втрати міцності. Заміщення до 20% піску деревним пилом не завдає шкоди до зниження міцності.

3. Виробництво деревостружкових плит (ДСП) та фанери

Використання грубих фракцій пилу для виготовлення ДСП практикується давно. Грубі фракції деревного пилу виготовлені у виробництві ДСП, де вони забезпечують необхідну міцність і стійкість до деформацій. Грубі фракції використовуються як основна сировина для виготовлення плити. Використання дрібних фракцій для поверхневих шарів фанери. Дрібні фракції деревного пилу можуть бути використані для покриття поверхонь фанери, що завершує її естетичні властивості. Дрібні фракції підходять для створення гладкої поверхні фанери.

Використання деревного пилу в будівельній галузі відкриває нові можливості для підвищення ефективності та екологічності будівельних матеріалів. Завдяки своїм фізико-хімічним характеристикам, деревний пил може бути адаптований для різних продуктів, таких як виробництво ДПК, бетонних сумішей та плит, що робить його частину ресурсом у сучасному будівництві.

Основні переваги використання деревно-полімерних композитів (ДПК) перед традиційними будівельними матеріалами включають їхню екологічність, довговічність, легкість у обробці та різноманітність застосування. Далі розглянемо ці переваги детальніше.

1. Екологічність

ДПК виготовляються з перероблених деревних відходів і термопластів, що робить їх більш екологічно чистими в порівнянні з традиційними матеріалами. Вони сприяють зменшенню кількості відходів у деревообробній промисловості та можуть бути виготовлені з вторинних сировин.

2. Довговічність

Деревно-полімерні композити мають високу стійкість до гниття, корозії та впливу ультрафіолетового випромінювання. Це дозволяє їм зберегти свої властивості протягом тривалого часу без необхідності в частому обслуговуванні або фарбуванні.

3. Легкість у обробці

ДПК легко піддається механічній обробці, що дозволяє створювати різноманітні форми і розміри. Вони можуть бути вирізані, просверлені та склеєні за допомогою звичайних деревообробних інструментів, що спрощує їх використання в будівництві.

4. Тепло- та звукоізоляційні властивості

Деревно-полімерні композити забезпечують добрі тепло- та звукоізоляційні характеристики, що робить їх ідеальними для використання в житлових і комерційних будівлях. Це дозволяє знизити витрати на опалення і кондиціонування повітря.

5. Стійкість до шкідників

На відміну від натуральної деревини, ДПК не піддаються атаці грибків і шкідників, таких як терміти. Це значно підвищує їхню довговічність і знижує витрати на обслуговування.

6. Різноманітність процесу

ДПК використовують у багатьох сферах, включаючи:

Підлоги : Деревно-полімерні композити часто використовують для виготовлення настилів на відкритих майданчиках.

Огородження : Вони застосовуються для виготовлення парканів та огорож.

Меблі : ДПК можуть бути використані для виготовлення меблів завдяки вашій легкості та естетичному вигляду.

Ландшафтний дизайн : Використовуються для створення елементів ландшафтного дизайну, таких як лавки, перголи тощо.

Таблиця 3.8. Порівняння ДПК з традиційними матеріалами

Параметр	Деревно-полімерні композити (ДПК)	Традиційні матеріали
Екологічність	Висока	Залежить від матеріалу
Довговічність	Висока	Середня
Обробка	Легка	Може вимагати спеціальних інструментів
Теплоізоляція	Добра	Залежить від матеріалу
Стійкість до шкідників	Так	Ні
Вартість	звичайно вище	звичайно нижче

Використання деревно-полімерних композитів (ДПК) має численні переваги перед традиційними будівельними матеріалами. Їхня екологічність, довговічність, легкість у обробці та різноманітність програм роблять їх привабливими для сучасного будівництва. Зважаючи на ці фактори, ДПК може стати кількома елементами у переході до більш стійких і екологічних будівельних практик.

Для побудови графіка, що демонструє вплив розмірів часток пилу на міцність та гнучкість деревостружкових плит (ДСП), можна створити таблицю даних, яка містить інформацію про різні фракції пилу та їх вплив на фізико-механічні властивості ДСП. Нижче наведено приклад такої таблиці.

Таблиця 3.9. Вплив розмірів часток пилу на міцність та гнучкість ДСП

Розмір часток пилу (мкм)	Міцність на вигін (МПа)	Гнучкість (МПа)	Водопоглинання (%)
< 0,5	35	2000	5
0,5 - 1,0	30	1800	7
1,0 - 2,5	28	1600	9

Розмір часток пилю (мкм)	Міцність на вигін (МПа)	Гнучкість (МПа)	Водопоглинання (%)
2,5 - 5,0	25	1500	11
> 5,0	20	1400	15

3.7. Застосування деревного пилю у хімічній промисловості

Деревний пил має широкий спектр застосування в хімічній промисловості, зокрема у виробництві біопалива та біохімічних процесах. Розглянемо ці застосування детально

1. Виробництво біопалива

Пресування деревного пилю у пелети та брикети. Деревний пил може бути пресований у пелети або брикети, які використовують як екологічне паливо. процес дозволяє зменшити обсяг відходів і забезпечити це ефективно використання деревини. Деревний пил підлягає суші, подрібненню та пресуванню під високим тиском, що дозволяє отримати компактні паливні гранули.

Розмір часток пилю впливає на теплотворну здатність пелет. Менші частини забезпечують більш рівномірне згоряння і вищу теплотворну здатність.

Таблиця 3.10. Вплив дисперсності на теплотворну здатність пелет

Розмір часток (мм)	Теплотворна здатність (ккал/кг)
< 0,5	4500
0,5 - 1,0	4200
> 1,0	4000

Дрібнодисперсний пил як покращувач спалювання та стабільності процесу горіння. Дрібнодисперсний пил використовується для покращення спалювання пелет за рахунок вашої великої поверхневої площі, що сприяє кращому контакту з повітрям.



2. Біохімічні процеси

Використання деревного пилу для отримання хімічних компонентів

Деревний пил може бути використаний для отримання різних хімічних компонентів, таких як метанол, етанол та інші біопродукти через ферментацію.

Процес ферментації - деревний пил піддається гідролізу, після чого отримані цукри ферментуються до спиртів.

Хімічний склад деревного пилу, зокрема вміст целюлози та лігніну, впливає на ефективність ферментаційних процесів.

Таблиця 3.11. Роль хімічного складу пилу в процесі ферментації

Компонент	Вміст (%)	Вплив на ферментацію
Целюлоза	40-50	Основне джерело цукрів для ферментації
Лігнін	20-30	Може уповільнювати процеси ферментації
Геміцелюлози	20-30	Сприяють гідролізу

Дисперсність деревного пилу також впливає на швидкість реакцій у біохімічних процесах: менші частинки забезпечують більшу реакційну поверхню, що прискорює фермент.

Деревний пил має великий потенціал для використання в хімічній промисловості, зокрема у виробництві біопалива та біохімічних продуктів.

Його фізико-хімічні властивості, такі як дисперсність і хімічний склад, впливають на важливу роль у визначенні ефективності цих процесів. Застосування деревного пилу зменшення відходів і розвиток екологічно чистих технологій.

Використання біопалива з деревного пилу має кілька ключових переваг, які роблять його привабливим варіантом альтернативного пального. Ось основні переваги:

1. Екологічність. Біопаливо з деревного пилу є екологічно чистим джерелом енергії. При спалюванні викидів парникових газів його значно менше, ніж у традиційних викопних палив, таких як нафта та вугілля. Наприклад, використання біопалива може зменшити викиди CO₂ на 80% у порівнянні з традиційними джерелами енергії.

2. Відновлюваність. Деревний пил є відновлювальним ресурсом, оскільки він отримується з відходів деревообробної промисловості. Це дозволяє зменшити залежність від невідновлювальних ресурсів і ускладнення сталого розвитку.

3. Енергетична ефективність. Пелети та брикети з деревного пилу мають високу теплотворну здатність, що робить їх ефективними для використання в системах опалення. Наприклад, основні пелети можуть мати теплотворну здатність до 4,9 кВтг/кг

Це означає, що вони можуть забезпечити більше тепла при меншій кількості пального.

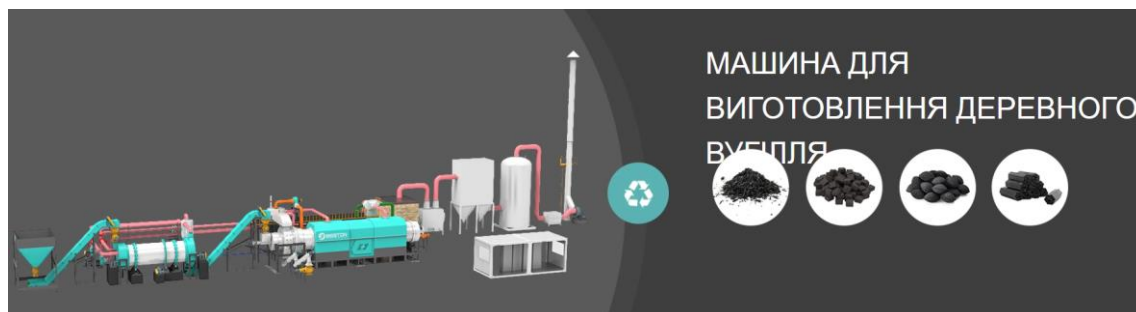
4. Легкість у використанні. Деревні пелети мають стандартну форму і розмір, що сприяє їх зберіганню та транспортуванню. Вони можуть використовуватися в автоматизованих системах опалення, що забезпечують зручність і контроль температури.

5. Економічність. Вартість біопалива з деревного пилу фактично нижча порівняно з традиційними видами пального. Це робить його економічно вигідним варіантом для споживачів, особливо в умовах зростання ціни на викопне паливо.

6. Зменшення відходів. Використання деревного пилу як біопального ресурсу сприяє використанню відходів деревообробної промисловості, що зменшує обсяги зміття та забруднення навколишнього середовища.

Таблиця 3.12. Переваги біопалива з деревного пилу

Перевага	Описання суті
Екологічність	Змінення викидів парникових газів та забрудничих речовин
Відновлюваність	Використання вторинних сировини з дерева
Енергетична ефективність	Висока теплотворна здатність пелет і брикетів
Легкість у використанні	Стандартна форма і розмір полегшують транспортування та зберігання
Економічність	Нижча вартість у порівнянні з традиційними видами пального
Зменшення відходів	Утилізація відходів деревообробної промисловості



Використання біопалива з деревного пилу має численні переваги, які роблять його привабливим варіантом для забезпечення енергетичних потреб у сучасному світі. Його екологічні характеристики, економічна вигода та можливість утилізації відходів із виробництва біопаливомасляного елемента у переході до сталого розвитку та екологічно чистих технологій.

3.8. Використання деревного пилу у сільському господарстві

Деревний пил, як побічний продукт деревообробної промисловості, має різноманітне застосування в сільському господарстві. Його можна використовувати для виробництва біодобрив, мульчування ґрунтів і як

компонент кормів у тваринництві. У цьому документі ми розглянемо ці застосування детально, з таблицями та малюнками для кращого розуміння.

Виробництво біодобрив: утилізація деревного пилу як органічної добавки до основи. Деревний пил може бути використаний як органічна добавка до обґрунтування, що покращує його структуру та родючість. Він сприяє аерації ґрунту, утриманню вологи та збагаченню його органічними речовинами.

Таблиця 3.13. Переваги використання деревного пилу як добрива

Переваги використання деревного пилу як добрива	Опис
Покращення структури обґрунтовано	Деревний пил розпушити ґрунт, покращуючи його аерацію.
Утримання вологи	Пил здатний утримувати вологу, що особливо важливо в посушливих умовах.
Збагачення органікою	Деревний пил є джерелом органічних речовин, які сприяють розвитку мікроорганізмів у підставі.

Використання ультрадисперсного пилу для підвищення родючості ґрунту перспективне, бо ультрадисперсний пил має більшу поверхневу площу, що забезпечує кращу адсорбцію води і поживних речовин, підвищуючи родючість ґрунту. Дослідження показують, що додавання ультрадисперсного пилу обґрунтовано може підвищити його родючість на 15-20%.

Розклад органічних сполук пилу в обґрунтуванні та його вплив на рослини. Розклад деревного пилу обґрунтовано здійснюється за допомогою мікроорганізмів, які перетворюють його на доступні для рослин живильні речовини.

Таблиця 3.14.

Процес розкладу	Опис
Мікробіологічний розклад	Мікроорганізми складають деревний пил, вивільняючи поживні речовини для рослин.
Вплив на ріст рослин	Поживні речовини, отримані з розкладу пилу, стимулюють ріст і розвиток рослин.

Деревний пил можна використовувати як мульчу для покриття ґрунту навколо рослин. Це гарантувати збереження вологи, контролювати ріст бур'янів та покращувати естетичний вигляд садів.

Переваги мульчування :

- ✓ Зменшення випаровування води.
- ✓ Запобігання росту бур'янів.
- ✓ Поліпшення температурного режиму обґрунтовано.

Розмір часток деревного пилу проблем зі швидкістю його розкладання: менші частини утворюються швидше, забезпечуючи рослини живими речовинами.

Таблиця 3.15. Вплив дисперсності пилу на швидкість розкладання

Розмір часток (мм)	Швидкість розкладання (днів)
< 0,5	30
0,5 - 1,0	45
> 1,0	60

Деревний пил можна використовувати як добавку до кормів для тварин, забезпечуючи їх необхідними волокнами та покращуючи травлення.

- ✓ Переваги використання :
- ✓ Поліпшення травлення у тварин.
- ✓ Зменшення витрат на корми.

Дисперсність деревного пилу також впливає на засвоюваність кормових сумішей: дрібнодисперсний пил легше засвоюється тваринами.

Таблиця 3.16. Вплив дисперсності на засвоюваність кормових сумішей

Розмір часток (мм)	Засвоюваність (%)
< 0,5	85
0,5 - 1,0	75
> 1,0	60

Використання деревного пилу в сільському господарстві має численні переваги, включаючи підвищення родючості ґрунту, збереження вологи та

покращення кормових сумішей для тварин. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям деревний пил може стати кількістю ресурсу для сталого розвитку аграрного сектора.

3.9. Технологічні можливості у легкій промисловості

Легка промисловість охоплює різноманітні галузі, серед яких виробництво паперу та картону, а також текстильна промисловість. У кожній із цих підгалузей застосовуються сучасні технології, які сприяють підвищенню якості продукції та ефективності виробництва.

Ультрадисперсний пил є компонентом у виробництві високоякісного паперу. Цей матеріал забезпечує покращення фізичних властивостей паперу, таких як гладкість і міцність. Дослідження показують, що розмір часток пилу має значний вплив на ці характеристики: менші частки забезпечують кращу однорідність і підвищують міцність готового продукту.

Дрібнодисперсний пил використовується для покращення властивостей картону. Він досягає більшої щільності та стійкості до механічних впливів, що робить картон більш придатним для упаковки товарів

Впровадження нових технологій у процес виробництва дозволяє оптимізувати використання сировини та зменшити витрати.

У текстильній промисловості пил з деревини виступає як наповнювач у волокнах для виготовлення екологічних тканин. Це дозволяє зменшити використання синтетичних матеріалів і підвищити екологічність продукції.

Крім того, використання дрібних часток у виготовлених фільтрувальних матеріалах відкриває нові можливості для створення ефективних фільтрів, які можуть бути використані в різних сферах, від очищення води до медичних застосувань.

Ці технології сприяють розвитку нових продуктів, які відповідають сучасним вимогам щодо якості та безпеки. Таким чином, постійно розвиваються технологічні можливості в легкій промисловості, що дозволяє підвищити якість продукції та ефективність виробництва у галузях, таких як виробництво картону та текстилю.

3.10. Перспективи інноваційного використання деревного пилу

Нанотехнології відкривають нові горизонти в розробці матеріалів за рахунок використання ультрадисперсного пилу як джерела для отримання нановолокон та наночасток. Ці технології мають великий потенціал у створенні нових матеріалів, таких як нанокомпозити, які поєднують властивості різних компонентів на нанорівні.

Ультрадисперсний пил характеризується частками розміром менше 100 нм, що дозволяє досягти унікальних фізичних і хімічних властивостей.

Завдяки своїй високій поверхневій площі ультрадисперсний пил сприяє утриманню формування тонких волокон, які можуть бути використані в текстильній промисловості та для виробництва композитних матеріалів.

Створення наночасток: наночастинки, отримані з ультрадисперсного пилу, можуть бути використані в електроніці, медицині та інших галузях.

Нанокомпозити, що містять наночастинки, демонструють покращені механічні, термічні та електричні властивості. Вони можуть використовуватися в:

- автомобільній промисловості: зменшення ваги і підвищення міцності.
- будівництво: поліпшення характеристик будівельних матеріалів.
- електроніка: підвищення ефективності електронних компонентів.

Розмір часток і їх дисперсність суттєво впливають на властивості матеріалів. наприклад: зменшення розміру часток може призвести до підвищення міцності та жорсткості матеріалу; теплопровідність: наноматеріали часто мають покращену теплопровідність у порівнянні з макроскопічними аналогами.

Таблиця 3.17.

Властивість	Наноматеріали	Макроскопічні матеріали
Міцність	Вища	Ніжча
Теплопровідність	Вища	Ніжча
Гладкість	Вища	Ніжча

Фільтраційні системи також виграють з використанням пилу для виготовлення фільтрувальних елементів. Дрібнодисперсний пил має важливе значення в цій галузі. Використання пилу для виготовлення фільтрувальних елементів. Дрібнодисперсний пил може бути використаний для створення фільтрів, які забезпечують:

- Високу ефективність очищення: Здатність утримувати навіть найменші частинки забруднень.
- Довговічність: Зменшена ймовірність забруднення фільтрів завдяки високій площі поверхні.

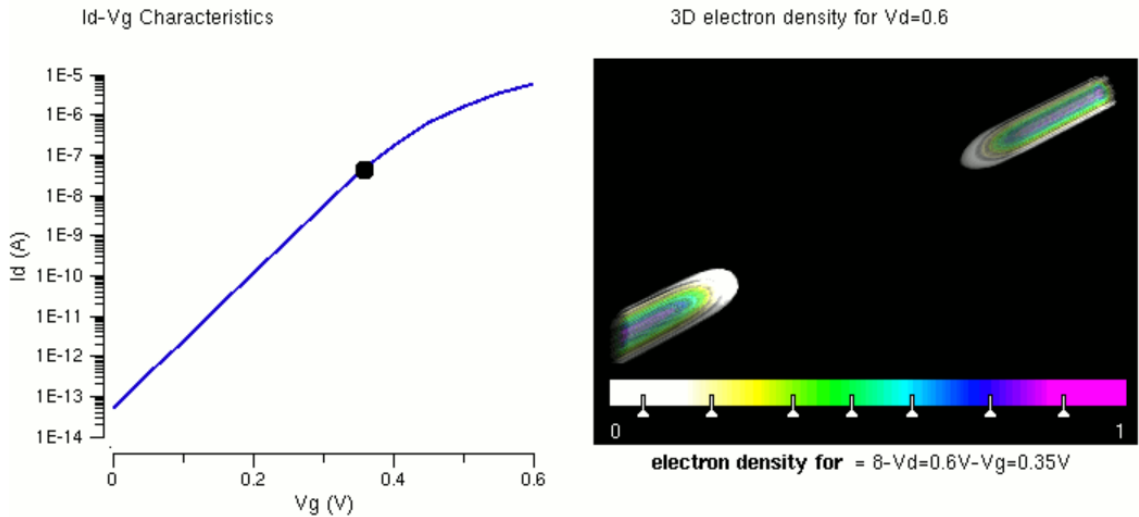
У промислових системах вентиляції дрібнодисперсний пил забезпечує:

Покращену якість повітря: Фільтри здатні затримувати алергени, пил та інші забруднювачі. Завдяки зниженню опору повітря в системах вентиляції.

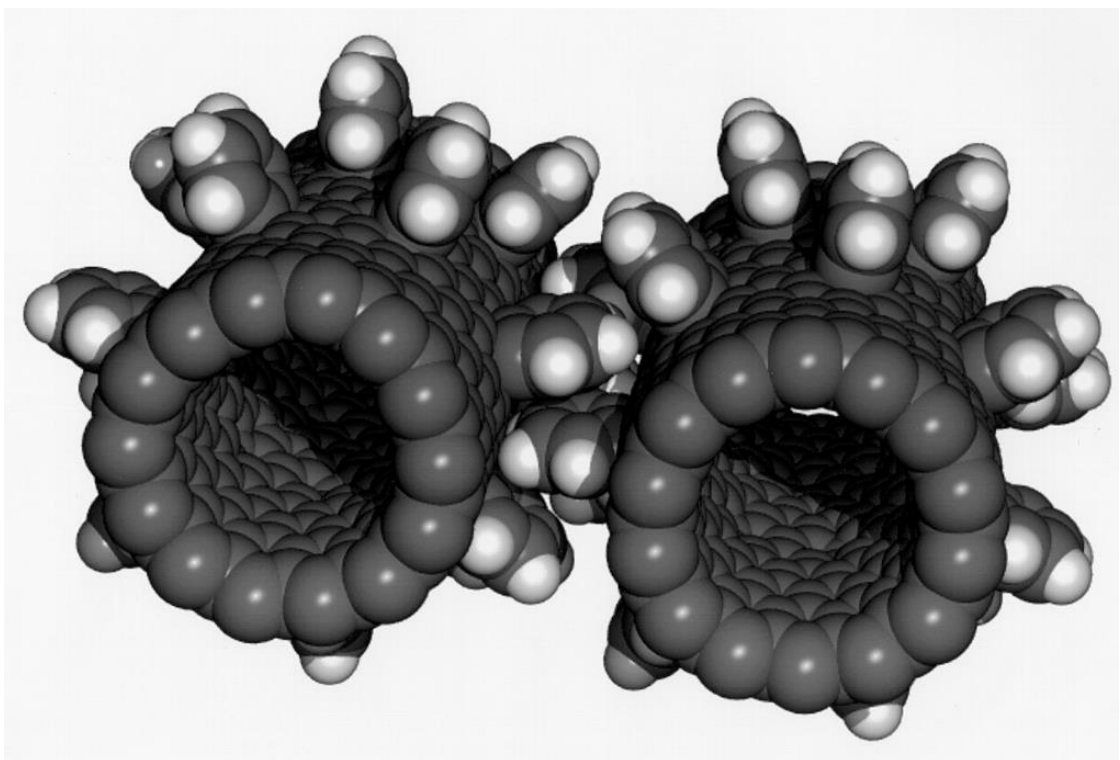
Таблиця 3.18.

Параметр	Фільтри з дрібнодисперсним пилом	Звичайні фільтри
Ефективність	Вища	Нижча
Тривалість служби	Довша	Коротша
Вартість	Вища	Нижча

Інноваційне використання нанотехнологій і фільтраційних систем відкриває нові можливості для підвищення якості продукції в різних галузях. Використання ультрадисперсного пилу сприяє створенню новітніх матеріалів з унікальними властивостями, а також ефективність фільтраційних систем, що є аспектом забезпечення чистоти повітря та здоров'я людей.



Моделювання нанодотини



3.2 Розроблення рекомендацій щодо застосування деревного пилу з урахуванням його дисперсності

3.11. Застосування деревного пилу та золашлаку теплових електростанцій для виробництва легких наповнювачів

Огляд джерел літератури показав, що одним із раціональних методів утилізації деревного пилу та золашлакових відходів теплових електростанцій є залучення їх до виробничих процесів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій у промислово розвинених країнах. Такий підхід дає змогу

зменшити кількість відвалів та запобігти подальшому накопиченню відходів. Основними перевагами використання вказаних відходів у виробничому процесі є захист навколишнього середовища та збереження сировинних ресурсів для виробництва готової продукції. Запропоновано технологію виробництва легких наповнювачів для бетону з використанням золошлакових відходів ТЕС та деревного пилу деревообробних підприємств в якості сировинних компонентів. Частину глинистого матеріалу, що є основним компонентом шихти за класичною технологією виробництва наповнювачів, можна замінити золошлаком, зважаючи на близький вміст основних хімічних компонентів. Введення в склад шихти деревного пилу сприятиме формуванню пористості наповнювачів під час його вигорання за високих температур. Золошлакові відходи, які є гідралічними сумішами, необхідно висушувати, зважаючи на високий вологовміст. Оскільки енергозатрати на реалізацію процесу сушіння є значними, пошук альтернативних методів сушіння є актуальним завданням. Для реалізації процесу сушіння золошлаку, запропоновано метод фільтраційного сушіння, який дає можливість інтенсифікувати процеси масо- і теплообміну, зменшити тривалість сушіння. Досліджено вплив швидкості теплового агента на тривалість процесу сушіння золошлаку. Кінетичні криві для золошлаку характеризуються періодами механічного витіснення та видалення вологи. Тому, сушіння золошлакових відходів фільтраційним методом, дозволить знизити енерговитрати на реалізацію процесу за рахунок витіснення та видалення значної кількості вологи рухомим тепловим агентом під дією перепаду тиску. Результати дослідження кінетики сушіння є корисними для організації та інтенсифікації процесу, як попереднього етапу на лінії виробництва легких наповнювачів. Зразки пористого наповнювача готували з використанням шихти різного складу. Досліджено фізико-механічні властивості зразків легких наповнювачів, а саме, теплопровідність та міцність на стиск. Отримані наповнювачі рекомендовані для виробництва легких бетонів.

В Україні, внаслідок діяльності підприємств різних галузей промисловості, щорічно утворюється та накопичується значна кількість

промислових відходів. На превеликий жаль, на сьогодні найпоширенішим способом поводження з промисловими відходами в Україні є розміщення їх у відвали, терикони, шламо- та хвостосховища, звалища та інші накопичувачі. Вони займають мільйони гектарів земель, є джерелом забруднення повітря, ґрунтів, підземних вод. Тому, проблема поводження з відходами є однією з найактуальніших проблем сьогодення і посідає пріоритетні позиції.

Зокрема, серед чисельного розмаїття промислових відходів, значними є відходи деревини. В Україні щорічно заготовлюється близько 15,0 млн. м³ деревини, що призводить до утворення близько 49 млн. т деревних відходів, які утворюються на всіх стадіях її заготівлі, переробки та обробки [1, 2]. Значна кількість деревних відходів вже утилізується раціональним чином, чого не можна сказати про дрібнодисперсні фракції деревини та деревний пил, які в значних кількостях утворюються на технологічних лініях шліфування виробів з деревини. Враховуючи дрібно дисперсність деревного шліфувального пилу, його слід віднести до 3-го класу небезпеки, адже окрім підвищеної шкідливості на організм людини в ньому зосереджена прихована загроза – у вигляді здатності до самозаймання під час нагромадження та зберігання на територіях підприємств. Утилізація дрібнодисперсних фракцій деревини, що утворились внаслідок шліфування деревини, а також пилу, вловленого батарейними циклонами та фільтрами, проводиться, в більшості випадків, шляхом захоронення у відвали, які займають значні земельні площі.

Розробка заходів раціонального поводження з відходами паливно-енергетичного комплексу є також актуальною задачею. Збільшення потужностей теплових електростанцій супроводжується зростанням обсягів відходів у вигляді золи та шлаку. На даний час, кількість утворених відходів перевищує 1,5 млрд т, що спричиняє значне екологічне навантаження на навколишнє середовище внаслідок їх розміщення у золо- та шлако- відвалах, більшість з яких є вже практично заповненими.

Розвинені країни давно навчилися отримувати прибуток від переробки промислових відходів. Добрим прикладом є острівна Японія – країна з мінімальними запасами природних ресурсів і найвищим показником

циклічності економіки. Зважаючи на сучасні світові тенденції, методи утилізації відходів повинні бути раціональними, що передбачає впровадження передових технологій із залученням відходів деревообробних підприємств, зокрема, дрібнодисперсних фракцій деревини та деревного пилу, а також відходів паливно-енергетичного комплексу, у вигляді золи та шлаку, у виробничі процеси, в якості цінних сировинних ресурсів для виробництва нових продуктів. Такий підхід є актуальним, як з точки зору раціонального використання природних ресурсів, так і з точки зору охорони навколишнього середовища [3].

У сучасних умовах нестачі природних ресурсів, утилізація відходів деревообробних підприємств та паливно-енергетичного комплексу, шляхом їх залучення у виробничі цикли в якості вторинної сировини для отримання нових продуктів з впровадженням енергоефективних технологічних рішень, є важливим завданням сьогодення.

Аналіз літературних даних показав, що, на даний час, дрібнодисперсну деревину чи деревний пил використовують як енергетичну сировину для виробництва біопалива, а також в інших виробництвах як вторинну сировину для виготовлення нових матеріалів та продуктів [4]. Деревний пил, у багатьох випадках, може бути заміником деревного борошна – продукту, який має доволі високу собівартість, оскільки для його виробництва застосовують стадійне розмелювання деревини у млинах, що зумовлює значні енергозатрати. Зважаючи на вищесказане, доцільність використання деревного пилу є обґрунтованою для виробництва широкого різновиду термопластичних деревно-полімерних композиційних матеріалів, лінолеумів, фенопластів (бакелітів, карболітів), арболітів, фібролітів, ксилолітів, тирсобетонів, королітів [2]. Зважаючи на тиксотропні якості деревного пилу, його застосовують в якості додатку під час формування клейових мас, шпаклівок, замазок. Деревний пил має виражені сорбуючі властивості, тому його використовують для виробництва сорбентів, що застосовуються в різних технологіях очищення газових і рідинних потоків від шкідливих компонентів.

Авторами робіт [5-9] пропонуються різноманітні способи утилізації відходів паливно-енергетичного комплексу. Золошлакові відходи рекомендують використовувати як добавки для виробництва цементу, бетону [10, 11]. Зола винесення придатна для одержання гіпсових в'язучих матеріалів – додавання її в сировинну суміш сприяє підвищенню міцності та водостійкості одержаних композицій [12]; золошлак може замінити високоякісну сировину при виробництві кераміки [13]. Золошлакові матеріали володіють високою поглинальною здатністю та термічною стійкістю, що дає можливість їх використання для вловлювання парів нітратної кислоти [14], очищення стічних і поверхневих вод від нафтопродуктів [15].

Не дивлячись на розроблені та запровадженні технології застосування деревного пилу та золошлакових відходів, відомо, що в Україні лише близько 10% золошлакових відходів та близько 15% дрібнодисперсної деревини та пилу деревообробних підприємств використовуються в якості вторинних сировинних ресурсів. Тому, необхідним є пошук нових областей їх застосування, що дозволить не тільки зменшити наявну кількість вказаних відходів, а й запобігти складування нових партій.

Нами пропонується залучення вказаних відходів у виробництво пористих наповнювачів для легких бетонів, які, за класичною технологією, одержують шляхом випалювання шихти, основним компонентом якої є глина або суглинок, додатками виступають компоненти, які здатні до вигорання за температури 800-1500°C, що сприяє формуванню пористості готового продукту [16].

На більшості діючих ТЕС застосовують систему гідротранспорту золошлакових сумішей у відвали. Тому, золошлаки – це гідросуміші, які потребують попередньої дегідратації перед їх застосуванням в якості сировинних ресурсів. Проблема реалізації процесів сушіння золошлаків ТЕС полягає в тому, що внаслідок низької ефективності використання теплової енергії в барабанних сушарках, енергозатрати на процес сушіння є в декілька разів більшими, ніж це потрібно на перетворення вологи в пару. Окрім цього, за температур теплового агента більше 300°C, пилоподібна фракція матеріалу здатна до самозаймання, що спричиняє виробничі небезпеки.

Запропонований нами метод фільтраційного сушіння золошлаків ТЕС дає змогу використати низькотемпературний тепловий агент; зменшити втрати матеріалів з відпрацьованим сушильним агентом, оскільки найдрібніші частинки будуть втримуватись стаціонарним шаром; зменшити споживання енергії в процесі сушіння, оскільки значна кількість вологи з матеріалу буде механічно витіснитися та виноситися рухомим тепловим агентом внаслідок перепаду тисків; інтенсифікувати процеси масо- та теплопередачі, шляхом збільшення швидкості руху теплового агенту до науково обґрунтованих меж. Таким чином, застосування фільтраційного методу для сушіння золошлаку позитивним чином вплине на собівартість готової продукції. Для розробки науково обґрунтованих режимів фільтраційного сушіння золошлаку, як складової шихти для виробництва пористих наповнювачів, необхідним є проведення досліджень кінетики процесу з метою визначення тривалості процесу та встановлення параметрів інтенсифікації.

Нами проведена оцінка можливості використання деревного пилу та золошлаків ТЕС, в якості ресурсів сировини для виготовлення легких наповнювачів; дослідження основних закономірностей кінетики фільтраційного сушіння золошлаку ТЕС за різних швидкостей руху теплового агенту з метою інтенсифікації; дослідження фізико-механічних властивостей пробної партії легких наповнювачів.

Об'єктами дослідження було вибрано деревний пил, утворений в цеху шліфування деревини та золошлак теплової електростанції. Дослідження проводилися на основі аналізу та систематизації наукових уявлень про фактори, що впливають на створення наповнювачів на основі вторинних сировинних ресурсів, методів направлених на поліпшення фізико-механічних властивостей.

Деревний пил. Хімічний склад деревного пилу відповідає складу вихідної деревини, основним компонентом якого є целюлоза (48-53% від загального складу). Дисперсний склад пилу визначали за допомогою приладу X-ray Disc Centrifuge Particle Size Analyzer Ver. 3.78, на основі чого встановлено, що понад 80% складу деревного пилу, утвореного внаслідок процесів шліфування заготовок з масиву деревини, представлено дрібнодисперсною фракцією.

Насипна щільність деревного пилу залежить від багатьох факторів (вологість розміри і форми частинок, порода деревини) і знаходиться в межах 110-120 кг/м³. На рис. 3.4 наведені інтегральні криві розподілу часток пилу в пробах, відібраних одночасно на ділянці шліфування меблевих заготовок з масиву деревини.

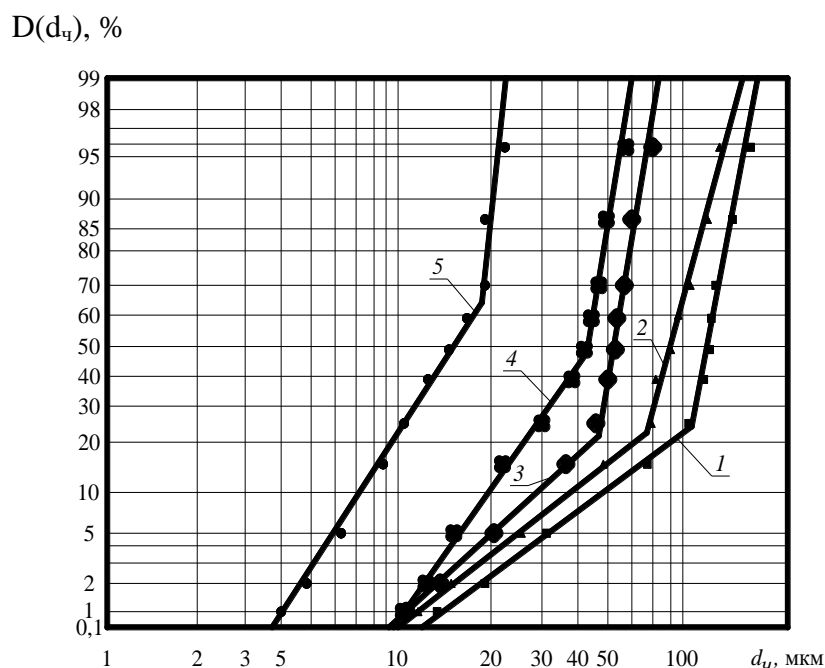


Рис. 1. Криві розподілу частинок деревинного пилу: 1 – в системі аспірації; 2 – від шліфувального барабана; 3 – до батареї циклонів (сума 1 і 2); 4 – після батареї циклонів; 5 – після фільтру

Порівнюючи розміщення кривих на координатній сітці (рис. 1), можна зробити висновок про те, що їх положення істотно залежить від максимального діаметра частинок пилу. На основі узагальнення результатів досліджень, отримано залежність, яка дає змогу розрахувати максимальний діаметр частинки пилу, що аспірується від шліфувального верстата:

$$\delta_{\max} = \frac{3}{g} \sqrt{\frac{2 \cdot \eta \cdot U_{ex}}{1 + 0,08 \cdot \frac{U_{ex} \cdot L}{U_0 \cdot H}}} \quad (1)$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Па·с; U_{ex} – швидкість повітряного потоку при вході в зону аспіраційного укриття, м/с; U_0 – швидкість повітряного потоку в зоні аспіраційного укриття, м/с; L та H – довжина і висота зони аспіраційного укриття, відповідно, м.

Отримані дані у вигляді рис. 1 та залежності (1) дають уявлення про об'єкт дослідження та є корисними для розроблення заходів щодо утилізації пилу підприємства.

Золошлак. Для визначення хімічного складу золошлакових відходів, що є необхідним для передбачення його властивостей, проби були відібрані з золошлакового відвалу та електричних фільтрів ТЕС. Хімічний склад золошлаку, визначений методом рентгенофлуоресцентної спектроскопії наведений в таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад золошлаку, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Проба з місця складування								
50,8%	21,4%	20,5%	0,7%	3,0%	1,2%	0,3%	0,6%	1,5%
Проба з електрофільтру								
50,4%	20,9%	20,8%	0,5%	4,5%	1,1%	0,2%	0,3%	1,3%

Вцілому, золошлак за своїм складом є значною мірою ідентичний до глини – природної сировини, що дає змогу його введення в склад шихти для виробництва пористих наповнювачів. При оцінюванні золошлакових відходів, як сировинного компоненту шихти для виготовлення легких наповнювачів, важливою характеристикою їх хімічного складу є співвідношення основних та кислотних оксидів, що виражається модулем основності: $M_0 = (CaO + MgO) : (SiO_2 + Al_2O_3)$. Для відібраних зразків золошлаку $M_0 < 1$, що вказує на їх кислий тип, що зумовлює послаблені формувальні властивості.

Гранулометричний склад золошлаку, що є одним з основних його характеристик, як сировинного матеріалу, визначений за допомогою ситового аналізу і представлений на рис. 2. Результати розподілу частинок за розмірами вказують на тонкодисперсність золошлаку, що зумовлює його пластичність (властивість склеювання) і позитивно впливатиме на міцність виробів.

Масова частка

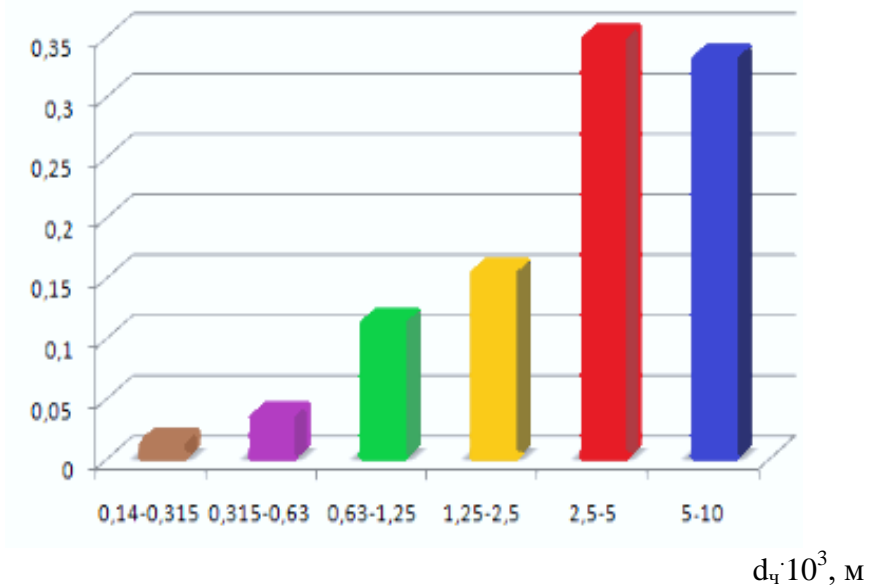


Рис. 2. Гранулометричний склад золошлаку

Приймаючи до уваги хімічний склад, модуль основності та гранулометричний склад золошлаку, зроблений висновок про можливість його застосування в складі шихти для виробництва легких наповнювачів. Для підвищення формульної здатності зразків наповнювача, частину сировинного глинистого матеріалу можна замінити золошлаком, вводячи при цьому в склад шихти незначну кількість затверджувачів.

Середній вологовміст золошлаку, відібраного з місць складування, становить 0,28 кг H_2O /кг сух. мат. і є зумовлений наявністю води в середині пористої структури частинок, поверхневої води та води міжзернового простору між окремими частинками, що втримується силами поверхневого натягу. Для застосування в якості сировинного компоненту шихти, золошлак необхідно висушити до рекомендованої вологості.

Дослідження кінетики процесу сушіння золошлаку фільтраційним методом проводили на експериментальній установці [17]. На перфорованому дні циліндричного контейнера формували стаціонарний шар золошлаку, для сушіння якого тепловий агент, попередньо нагрітий в калорифері, подавали в напрямку «вологий матеріал-перфороване дно контейнера». Проведено серію експериментів за різних витрат теплового агента, які реєструвались електронним витратоміром. Експерименти проводились до досягнення сталої маси зразка.

Результати досліджень впливу швидкості руху теплового агенту, зумовлених різною витратою, на зміну вологовмісту шарів золошлаку в часі під час реалізації процесу фільтраційного сушіння представлені на рис. 3 у вигляді графічних залежностей. Висота шару та температура теплового агенту для матеріалу вибиралися як оптимальні, виходячи із попередньо проведених розрахунків енергозатрат та характеристик матеріалу.

w^c , кг H_2O /кг сух. м.

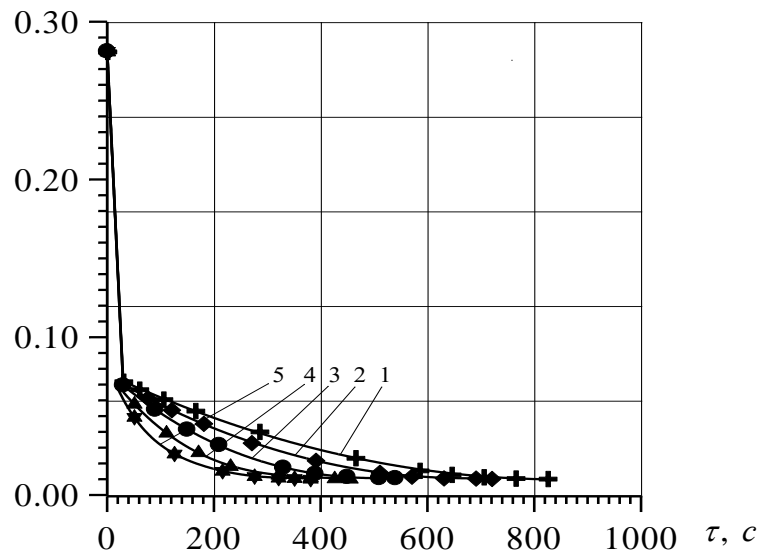


Рис. 3. Зміна вологовмісту стаціонарного шару шлаку в часі ($H=120 \cdot 10^{-3}$ м; $T=353K$): 1 – $v_0 = 0,63$ м/с; 2 – $v_0 = 0,98$ м/с; 3 – $v_0 = 1,33$ м/с; 4 – $v_0 = 1,67$ м/с; 5 – $v_0 = 2,02$ м/с

Аналіз рис. 3 показує, що збільшення швидкості теплового агенту від 0,63 до 2,02 м/с, дає змогу скоротити час сушіння у 2,2 рази. Прямолинійна ділянка на рис. 3 вказує на наявність періоду механічного витіснення та винесення поверхневої вологи, яка втримується частинками золошлаку за рахунок сил поверхневого натягу, а також вільної вологи, що міститься у проміжках між частинками, з стаціонарного шару матеріалу рухомим тепловим агентом. Дане явище забезпечуватиме зменшення енергозатрат на реалізацію процесу фільтраційного сушіння. Отримані результати є корисними для організації та інтенсифікації процесу фільтраційного сушіння золошлаку, як попередньої стадії на лінії з виробництва пористих наповнювачів.

Зразки наповнювача. Враховуючи вищесказане та згідно рекомендацій представлених у літературі, для формування зразків легких наповнювачів обрано наступний склад шихти: золошлакові відходи 35...45% (попередньо висушені фільтраційним методом), глина 55...45%, деревний пил 10%. На

основі обраних складів шихти, отримано пробну партію легких наповнювачів із застосуванням затверджувача. Первинна пористість у сформованих зразках виникла після гранулювання шихти. Зразки поміщали в муфельну піч і за температури 1000 К відбувалося випалювання дрібнодисперсної деревини, а також всередині гранул утворювалась газоподібна фаза, яка створювала надлишковий тиск у внутрішньому просторі, що сприяло пороутворенню. Приймаючи до уваги фізико-механічні властивості наповнювачів (Табл. 2), вони можуть бути рекомендованими для виробництва легких бетонів.

Таблиця 2 - Фізико-механічні властивості наповнювачів

Вміст глини, %	Вміст деревного пилу, %	Вміст золошлаку, %	Теплопровідність, Вт/м К	Міцність на стиск, МПа
55	10	35	0,23	2,25
50	10	40	0,18	1,58
45	10	45	0,14	1,08

Висновок. Запропонований метод утилізації золошлаку та деревного пилу створить умови для безвідходного виробництва деревообробних підприємств та об'єктів паливно-енергетичного комплексу, дасть змогу рекультивувати земельні площі відведені під звалища, розширить сировинну базу виробництва пористих наповнювачів для бетонів. Запропонований метод фільтраційного сушіння золошлаку сприятиме зменшенню енерговитрат на лінії сушіння, що позитивним чином вплине на собівартість готової продукції.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в деревообробній промисловості є критичним аспектом, який забезпечує безпеку працівників та знижує ризики травмування та професійних захворювань. відповідно до нормативних документів, таких як НПАОП 20.0-1.02-05, охорона праці на підприємствах галузі регламентується конкретними правилами та стандартами.

Основні вимоги охорони праці

Безпечні умови праці: Усі технологічні процеси повинні бути організовані відповідно до вимог безпеки, що включають використання сертифікованого обладнання та підтримку технологічних режимів. Робочі місця, де можливо виділення токсичних або вибухонебезпечних речовин, повинні бути забезпечені системами вентиляції та уловлювачами.

Захисні засоби: Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (СІЗ), такі як спецодяг і спецвзуття, відповідно до норм безпеки. Перед допуском до роботи необхідно пройти медичний огляд і спеціальне навчання

Аварійна сигналізація: У разі виникнення аварійних ситуацій повинна бути передбачена автоматична світлова або звукова сигналізація, яка сповіщає працівників про небезпеку. Організація робочих місць

Робочі місця на деревообробних підприємствах мають бути організовані так, щоб зменшити ризик травматизму:

Захисні огороження: Усі верстати повинні мати захисні кожухи, які запобігають доступ до рухомих частин під час роботи. Це також включає блокування живлення при знятті огорожень

Аспіраційні системи : Для видалення стружки та пилу з робочої зони необхідно встановити аспіраційні системи, які забезпечують чистоту повітря і запобігають перевищенню гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Профілактика травматизму

Для зменшення ризиків травматизму важливо впроваджувати наступні заходи:

Автоматизація процесів: Використання автоматизованої системи в технологічних процесах дозволяє знизити навантаження на працівників і зменшити ймовірність помилок.

Навчання персоналу: Регулярне навчання та інструкції з безпеки праці допомагають сформувати у працівників усвідомлене ставлення до ризиків і дотримання правил охорони праці. Охорона праці на деревообробному підприємстві є комплексним завданням, яке вимагає дотримання законодавчих норм та впровадження сучасних технологій для забезпечення безпеки працівників. Системний підхід до навчання, організації робочих місць та використання засобів індивідуального захисту є запорукою успіху в цій галузі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз причин пиловотворення в деревообробній галузі: встановлено, що основними джерелами пилу є технологічні процеси, транспортування матеріалів та експлуатація обладнання. Визначено, що пил може негативно впливати на здоров'я працівників, якість продукції та навколишнє середовище. Проаналізовано дисперсний склад пилу.
2. Дослідження проблеми пилоутворення та пиловловлювання є надзвичайно актуальним у сучасному світі, де промислова діяльність зростає. Ефективне вирішення цієї проблеми можливо лише за умов комплексного підходу, що включає технічні інновації, освітні програми та зміни в законодавстві. Впровадження запропонованих рекомендацій дозволить значно знизити рівень пилу в атмосфері виробництва та покращити умови праці для робітників. Дослідження показали, що тривалість перебування в умовах підвищеного пиловотворення викликана до розвитку професійних захворювань дихальної системи, а також інші проблеми зі здоров'ям.
3. Розглянуто різноманітні методи пиловловлювання, такі як механічні, електростатичні та водяні системи. Визначено їх переваги та недоліки, а також ефективність у різних умовах експлуатації.
4. Проаналізовані та описані можливі сфери застосування деревного пилу.
5. Запропонований і досліджений модифікований варіант пиловловлювача. Досліджені його характеристики та приведений розрахунок продуктивності
6. На основі проведеного дослідження пропонується: впровадження нових технологій використання деревного пилу в будівництві для

виготовлення будівельних блоків із зоошлаку та деревного пилу.
Приведені характеристики отриманого матеріалу.

Список використаних літературних джерел

1. Масікевич А. Ю., Масікевич Ю. Г. Перспективи утилізації відходів деревини у Чернівецькій області. Екологічна безпека. 2011. № 2(12). С. 63-66.
2. Повзун О. І., Подкопаєв С. В., Вірич С. О. Горячева Т. В., Дорох С. Г. Утилізація відходів полімерного та лісохімічного виробництва у дорожньому будівництві. Екологічна безпека. 2016. № 2(22). С. 102-111.
3. Шмандий В. М. Пляцук Д. Л. Передумови побудови моделі імовірнісного розподілу забруднюючих речовин в атмосфері. Екологічна безпека. 2014. № 2(18). С. 56-60.
4. Ялечко В. І. Можливість використання деревних відходів як альтернативного палива для котельних установок. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. зб. наук. праць X-тої Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 4–5 квітня. 2019р. Львів, 2019. С. 146–148.
5. Ahmaruzzaman M. A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science, 2010. Vol. 36. P. 327–363.
6. Yao Z. T., Ji X. S., Sarker P. K., Tang J. H., Ge L. Q., Xia M. S., Xi. Y. Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. P. 105–121.
7. Blissett R.S., Rowson N.A. A review of the multicomponent utilisation of coal fly ash. Fuel. 2012. Vol. 97. P. 1–23.
8. Sett R. Flyash: characteristics, problems and possible utilization. Advances in Applied Science Research. 2017. Vol. 8 (3). P. 32–50.
9. Адеева Л.Н., Борбат В.Ф. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности // Вестник Омского университета. 2009. № 2. С. 141–151.
- 10.Энтин З.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Зола ТЭС – сырье для цемента и бетона. Цемент и его применение. 2012. №2. С. 40–46.

11. Капустин А.Ф., Семериков И.С. Состав и свойства композиционного цемента с добавкой золошлаковой смеси ТЭС. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2011. № 16(12). С. 38–40.
12. Шарифов А., Субхонов Д.К., Шодиев Г.Г., Бобоев Т.С. Использование золы угля Фан-Ягнобского месторождения в качестве наполнителя композиций из гипсовых вяжущих. Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2016. Т. 59. № 9–10. С. 413–417.
13. Albertini A. V. P., Silva J. L., Freire V. N. Immobilized invertase studies on glass-ceramic support from coal fly ashes. Chemical Engineering Journal. 2013. Vol. 214, P. 91–96.
14. Федорова Н.В., Щеглов Ю.В. Антоненко Е.М. Исследование сорбирующих свойств золошлаковых материалов ТЭС по отношению к парам азотной кислоты. Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. № 3. С. 399–408.
15. Шишелова Т.И., Самусева М.Н., Шенькман Б.М. Использование ЗШО в качестве сорбента для очистки сточных вод. Современные наукоемкие технологии. 2008. № 5. С. 20–22.
16. Хлопицкий, О. О. Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України. ScienceRise. 2014. № 4/2(4). С. 23–28.
17. Hosovskyi R., Kindzera D., Atamanyuk V. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks. Chemistry & Chemical Technology. 2016. Vol. 10(4), P. 459–464.
18. Апостолюк С.О., Апостолюк А.С., Джигирей В.С. та ін. Охорона навколишнього середовища в деревообробній промисловості.-К.: Основа, 2003,-174 с.
19. Сторожук В.М. Виробничий шум: природа та шляхи знищення.-К.: Основа, 2003.-384 с.
20. Носовський Т.А. Основи промислової екології.-К.: ІСДО, 1996.-80 с.
21. Geels, F.W. (2004). From sectoral systems of innovation to sociotechnical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy 33 (6-7), pp. 897-920.

22. Geels, Frank W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. In: Environmental Innovation and Societal Transitions 1 (2011), p. 24-40.
23. Loorbach, Derk; Frantzeskaki, Niki; Avelino, Flor (2017). Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change. Annual Review of Environment and Resources 2017. 42:599–626.
<https://doi.org/10.1146/annurev-environ102014-021340>
24. Ibisch, P., (2018). Humans in the Global Ecosystem. –HNEE^ оесом.- 414 p.
25. Сомаp Г.В. Конспект лекцій з дисципліни "Соціо-технічні системи екотрансформації" в форматі PDF, Львів, 2023. – 48 с.