

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

на тему **«Дослідження дисперсного складу та основних властивостей пилу, що утворюється на деревообробних підприємствах»**

Здобувача Ратушного М.М.

2 курсу, ТЗС-467 групи

Керівник доцент Гаркович О. Л.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2024 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

к-т біол. наук, доц.

\_\_\_\_\_ **О. Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

\_\_\_\_\_ Ратушного Миколи Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження дисперсного складу та основних властивостей пилу, що утворюється на деревообробних підприємствах».

Затверджена наказом ОНТУ від «28» березня 2024 року, наказ № 139-03

2. Термін здачі здобувачем роботи 01.12.24 р.

3. Вихідні дані роботи визначення основних властивостей пилу, що утворюється у виробництві дерев'яних конструкцій.

4. Перелік питань, які потрібно розробити здійснити аналіз технологічних процесів виробництва конструкцій з деревини; провести аналіз характеристик пилочисного обладнання, що застосовується в системах аспірації у виробництві дерев'яних конструкцій та виробів; дослідити дисперсний склад та основні властивості пилу, що утворюється при механічній обробці деревини; розробити рішення щодо забезпечення надійності аспіраційних систем у виробництві виробів з деревини; охарактеризувати заходи щодо охорони праці в науково-дослідній лабораторії; розрахувати об'ємно-планувальні роботи для колективної захисної споруди.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Таблиці та схеми, що відображають хід виконання випускної кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Гаркович О.Л., доцент	28.03	9. 10
2	Гаркович О.Л., доцент	28.03	18.10
3	Гаркович О.Л., доцент	28.03	14.11
4	Гаркович О.Л., доцент	28.03	21.11
5	Гаркович О.Л., доцент	28.03	29.11

7. Дата видачі завдання 29.03.2024 р.

Керівник Олексій ГАРКОВИЧ  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання Микола РАТУШНИЙ  
(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд та вибір напрямку досліджень	5.10.24	
2.	Аналіз механічних властивостей деревини	7.10.24	
3.	Дисперсійний аналіз деревного пилу	12.10. 24	
4.	Визначення густини пилу	14.10.24	
5.	Дослідження аеродинамічних властивостей пилу	5.11.24	
6.	Визначення злипання пилу	9.11.24	
7.	Визначення комплексних реологічних властивостей пилу. Розробка рішень щодо забезпечення надійності систем аспірації	14.11.24	
8.	Формулювання висновків та рекомендацій	29.11.24	
9.	Оформлення презентаційних матеріалів	6.12.24	

Здобувач-дипломник Микола РАТУШНИЙ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Олексій ГАРКОВИЧ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник Микола РАТУШНИЙ  
(прізвище та ініціали) (підпис)

## АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: стор. – 80, рис. – 42, табл. – 9, формули - 17, література – 42.

**Перелік ключових слів:** деревний пил, повітря робочої зони, дисперсний склад, пилоочищення, системи аспірації.

**Тема:** Дослідження дисперсного складу та основних властивостей пилу, що утворюється на деревообробних підприємствах.

**Об'єкт дослідження:** пил, що утворюється при обробці деревини різних порід.

**Предмет дослідження:** оцінка впливу пилових викидів деревообробних підприємств на забруднення робочої зони під час виконання різних технологічних операцій із обробки деревини різних порід.

**Мета досліджень:** забезпечення надійності систем аспірації на основі результатів дослідження основних властивостей пилу, що утворюється у виробництві дерев'яних конструкцій.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

**Розділ 1.** Наведено аналіз технологічних процесів на деревообробних підприємствах як джерела виділення забруднюючих речовин у повітря робочої зони; розглянуті характеристики пиловловлюючого обладнання, що застосовується в системах аспірації на деревообробних підприємствах.

Обґрунтовано та вибрано напрямок дослідження. Наведено висновки до першого розділу.

**Розділ 2.** Проведено аналіз основних властивостей пилу, що утворюється на деревообробних підприємствах (механічні властивості деревини, дисперсний склад, густина пилу, визначено злипання та диспергування пилу, реологічні властивості пилу). Наведено висновки до другого розділу.

**Розділ 3.** Розроблено рішення щодо зниження запиленості повітря робочої зони при виробництві дерев'яних конструкцій, а саме надійності роботи систем аспірації. Наведено висновки до третього розділу.

**Розділ 4.** Охарактеризовано заходи щодо охорони праці в науково-дослідній лабораторії.

**Розділ 5.** Розраховано об'ємно-планувальні роботи для колективної захисної споруди.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	5
1.1 Аналіз технологічних процесів на деревообробних підприємства як джерела виділення забруднюючих речовин у повітря робочої зони... Аналіз характеристик пиловловлюючого обладнання, що застосовується в системах аспірації на деревообробних підприємствах .....	5 10
1.2	24
1.3 Обґрунтування та вибір напряму досліджень .....	24
1.4 Висновки до першого розділу .....	27
<b>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ І ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИЛУ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ</b> .....	28
2.1 Аналіз механічних властивостей деревини .....	28
2.2 Дисперсійний аналіз .....	31
2.3 Визначення густини пилу .....	40
2.4 Дослідження аеродинамічних властивостей пилу.....	43
2.5 Визначення злипання пилу.....	50
2.6 Диспергування пилу.....	52
2.7 Визначення комплексних реологічних властивостей пилу.....	53
2.8 Висновки до другого розділу.....	54
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЗАПАЛИНОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ</b> .....	56
3.1 Рішення щодо забезпечення надійності систем аспірації.....	56
3.2 Висновки до третього розділу.....	63
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	64
4.1 Вимоги безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень.....	64
4.2 Основні заходи пожежної профілактики в науково-дослідних лабораторіях.....	67
<b>РОЗДІЛ 5 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ</b> .....	70
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	73
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	76

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Технологічні процеси під час виробництва будівельних конструкцій та виробів з деревини супроводжуються значними виділеннями пилю у виробничі приміщення. За ступенем негативного впливу на працівників деревний пил віднесений до мало небезпечних речовин (IV клас), характеризується абразивними властивостями, відноситься до аерозолів переважно фіброгенної дії та у виробничих умовах може викликати алергічні реакції. Постійний контакт з деревним пилом призводить до різних захворювань органів дихання, шкіри та очей, а також до розвитку пневмоконіозу та пилового бронхіту.

Проведені раніше дослідження, пов'язані з вирішенням проблеми зниження запиленості повітряного середовища на деревообробних підприємствах, більшою мірою були спрямовані на вирішення питань, пов'язаних із зниженням пилових викидів до атмосферного повітря, і в меншій – на вирішення проблеми знепилення робочої зони. При цьому існуючі методи боротьби з пиловим забрудненням виробничих приміщень часто не повною мірою враховують дисперсний склад та основні властивості деревного пилю, що надходить у робочу зону під час виконання різних технологічних операцій із обробки деревини різних порід.

З іншого боку, висока запиленість повітря робочої зони на аналізованих підприємствах багато в чому обумовлена нестійкою роботою систем аспірації. Порушення роботи аспіраційних установок виникають внаслідок утворення пилових відкладень на внутрішніх поверхнях горизонтальних повітроводів, а також внаслідок відмов апаратів пилеочищення внаслідок забивання або абразивного зносу. У зв'язку з цим актуальними є дослідження, направлені на вирішення питань забезпечення надійності систем аспірації.

**Мета дослідження** – забезпечення надійності систем аспірації на основі результатів дослідження основних властивостей пилю, що утворюється у виробництві дерев'яних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувалися такі завдання:

- аналіз технологічних процесів виробництва конструкцій з деревини, як джерел виділення забруднюючих речовин у повітря робочої зони;
- аналіз характеристик пилоочисного обладнання, що застосовується в системах аспірації у виробництві дерев'яних конструкцій та виробів;
- дослідження та узагальнення даних про дисперсний склад та основні властивості пилю, що утворюється при механічній обробці деревини в виробництві будівельних матеріалів та виробів;
- розробка рішень щодо забезпечення надійності аспіраційних систем у виробництві будівельних матеріалів та виробів з деревини та експериментальна оцінка ефективності цих рішень.

**Методи дослідження** включали: аналітичне узагальнення відомих наукових та технічних результатів, експериментальні дослідження в лабораторних та промислових умовах, обробку експериментальних даних методами математичної статистики та кореляційного аналізу з застосуванням комп'ютерних програм.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **1.1. Аналіз технологічних процесів на деревообробних підприємства як джерела виділення забруднюючих речовин у повітря робочої зони**

Відповідно до технології та організації виробництва до складу деревообробних підприємств входять [1–6]: ділянки механічної обробки, збирання, фарбування, лісосушильна, клеєпідготовча, фарбопідготовча, заточувальна, а також склади різного призначення.

На ділянці механічної обробки, де проводиться розпилювання, стружка, фрезерування заготовок тощо, встановлюються круглопилі, стрічковопилі, стругальні, фрезерні, шліфувальні, свердлильні та інші верстати. На цій ділянці основною шкідливою речовиною є пил, що виділяється при механічній обробці деревини.

На ділянці збирання спочатку відбувається обробка столярних деталей (склеювання, шпаклювання та шліфування), а потім збирання, яке здійснюється в гарячих або холодних пресах [1, 4–6]. На цій ділянці у робочу зону виділяються теплота від нагрітих поверхонь, а також пари розчинників і розріджувачів клеїв.

На фарбувальній ділянці готові деталі та вироби ґрунтуються, фарбуються та сушаться. Для фарбування зазвичай застосовується пульверизаційний спосіб. Сушіння здійснюється в терморадіаційних, конвективних та інших сушарках. Основні шкідливі виділення цієї технологічної операції – пари розчинників та розріджувачів фарб, емалей та лаків, а також надлишкова теплота від сушильних камер [1, 4–6].

На заточувальній ділянці роблять заточування різального інструменту – круглих і стрічкових пилок, плоских ножів, фрез. Від заточувальних верстатів виділяється пил, що складається на 30–40 % з матеріалу абразивного круга та на 60–70 % з металу, що обробляється. Кількість пилу залежить від діаметра абразивного круга (100–550 мм) і становить від 140 до 1100 г/год [1–6].

Кількість пилу, що виділяється при обробці деревини на деревообробних верстатах, визначається за виразом [7, 8]

$$M_{\text{п}} = Y T, \text{ кг/год} \quad (1.1)$$

де  $Y$  – питомий показник пилоутворення на одиницю обладнання, кг/год (графа 4 у таблиці 1.2) [7, 8];

$T$  – час роботи технологічного обладнання, год.

Під час виробництва тріски джерелами виділення деревного пилу є: рубальні машини різних марок залежно від призначення виготовленої тріски (МБР-1 – для отримання паливної тирси з відходів лісопиляння; МРН-25 – для отримання технологічної тріски з відходів лісопилення та маломірних круглих пиломатеріалів; МГР-35 – для отримання технологічної тріски з низькосортної деревини); дробильні установки сортування тріски (ZUBR-30, ZUBR-60, ZUBR-120) [1, 2, 10]. Кількість пилу, що виділяється під час виробництва тріски, становить [1, 2, 9]

$$M_{\text{пт}} = Q T K_{\text{пт}}, \text{ кг/год} \quad (1.2)$$

де  $Q$  – розрахункова продуктивність пневмотранспортера, кг/год;

$K_{\text{пт}}$  – вміст пилу в трісці, %.

При виробництві деревостружкових плит деревний пил виділяється в процесах виготовлення та сортування тріски, виготовлення стружки, механічної обробки плит (обрізання, шліфування, розкрій) [2, 6, 11, 12]. При проведенні процесів просочення стружки смолою, гарячого пресування, охолодження та витримки плит у повітря робочої зони надходять формальдегід і аміак, що містяться в склеювальних смолах [1, 2, 6, 11].

Фанера є матеріалом, що складається з 3-х або більше листів шпону, склеєних у плоский лист із взаємно-перпендикулярним розташуванням волокон деревини у суміжних шарах (при непарному числі листів шпону) або із взаємно паралельним напрямом волокон 2-х середніх шарів при парному числі шарів шпону. На всіх етапах технологічного процесу виробництва відбувається виділення забруднюючих речовин, перелік яких наведено у таблиці 1.1 [1, 2, 6, 11].

Таблиця 1.1 – Виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони на окремих етапах технологічного процесу виробництва фанери, [8]

Ділянка виробництва фанери	Забруднююча речовина			
	пил	фенол	формальдегід	аміак
Ділянка обробки фанерної сировини	+	-	-	-
Ділянка луцення чураків	+	-	-	-
Ділянка сортування шпону	+	-	-	-
Ділянка ремонту шпону	+	-	-	-
Ділянка обрізки листкової фанери	+	-	-	-
Ділянка сортування фанери	+	-	-	-
Ділянка упаковки фанери	+	-	-	-
Ділянка виробництва деревних шаруватих пластиків	+	+	+	-
Ділянка склеювання шпону	-	+	+	+
Ділянка приготування смол	-	+	+	+

Кількість відходів, що утворюються при механічній обробці деревини, у тому числі пилу, наведено у таблиці 1.2 [1].

Таблиця 1.2 – Пилоутворення при механічній обробці деревини, [1]

Назва станків	Вид відходів	Середньогодинна маса відходів, кг			
		всього	у тому числі пилу		
1	2	3	4		
Круглопилльні	тирса, пил	29,7	10,7		
ЦБ-2					
ЦТЗФ-1				46,3	15,7
ЦМЕ-2, ЦКБ-4				44,0	15,8
ЦА2А				61,0	21,5
ЦПА-40				44,0	15,3
Ц2К12				35,0	11,8
ЦДК-4				78,0	28,1
ЦА2				110,0	39,7
ЦМР-1				170,0	61,2
1	2	3	4		

Продовження табл. 1.2			
1	2	3	4
Стругальні СФ-3, СФ-4 СФ-6 СФА-4, СР-3 СФА-6 СК-15, С16-4, С16-5 С2РВ С2Р12	стружка, пил	33,0 73,0 97,0 190,0 310,0 445,0 490,0	8,2 18,2 24,2 47,6 77,7 112,0 122,0
Фрезерні ФЛ, ФЛА, ФСШ Ф-4, Ф-5, Ф-6 ФА-4 Ф1К ФС-1 ВФК-2 СР-6 СР-12 СР-18 СП-30, С-26	стружка, пил	24,0 26,1 44,0 22,0 47,5 27,0 245,0 335,0 500,0 600,0	4,8 5,2 8,8 4,4 9,5 5,4 61,2 83,7 125,0 150,0
Шипорізні ШО-10: від торцювальної пилки; від шипорізної фрези; від провухкової фрези; ШО-6: від торцювальної пилки; від шипорізної голівки; від провухкового диска ШД-10-8 ШЛХ-2	тирса, стружка, пил	4,6 73,0 24,0 3,7 54,0 15,3 9,2 62,3	0,7 11,6 3,8 0,6 8,6 2,4 1,4 10,0
Стрічково-пиляльні ЛС-80-4 ЛД-140	тирса, пил	29,0 245,0	9,8 83,5
Свердлильні та довбальні СВПА СВА-2 ДЦА-2	стружка, пил	22,0 14,0 27,0	1,5 2,5 4,8

Продовження табл. 1.2			
1	2	3	4
СВА-2М, СНП-2		25,9	1,6
СГВП-1		23,2	1,5
Шліфувальні	пил		
ШлПС-5П		2,8	2,8
ШлПС-7		5,6	5,6
ШлНСВ		1,2	1,2
ШлДБ-4		3,2	3,1
ШлСЛ		1,8	1,7
Шл2Д		4,0	3,8
ШлВЦ-3		27,0	26,5
ШлЗВЦ-3		48,0	45,6
ШлНС		2,8	2,7

У таблиці 1.3 представлені дані про дисперсний склад деревного пилу, наведені у [1].

Таблиця 1.3 – Дисперсний склад пилу, що утворюється при основних процесах механічної обробки деревини за [1]

Технологічний процес	Розміри частинок, мкм				
	200-100	100-75	75-53	53-40	40
	Вміст, %				
Пиляння	16	68	10	3	3
Фрезерування	40	53	4,5	2	0,5
Свердління	46	45,5	4,5	2,5	1,5
Стругання	52	43	3	1,2	0,8
Шліфування	21	28	17,5	12	21,5

Відповідно до [13, 14] пил деревний має IV клас небезпеки з ГДК<sub>рз</sub> = 6 мг/м<sup>3</sup>, але віднесений до аерозолів переважно фіброгенної дії, який, крім того, може спричинити алергію у виробничих умовах. Ступінь шкідливого впливу деревного пилу на організм працюючих здебільшого залежить від його дисперсності та породи деревини [15, 16].

Постійний контакт з деревним пилом призводить до різних захворювань органів дихання, шкіри та очей, а також до розвитку пневмоконіозу та пилового

бронхіту [15, 17].

Формальдегід має II клас небезпеки з ГДКрз = 0,5 мг/м<sup>3</sup> і відноситься до речовин з гостроспрямованим механізмом дії, здатним викликати алергічні захворювання у виробничих умовах і вимагає спеціального захисту шкіри та очей, а також автоматичного контролю за вмістом у повітрі [13].

Фенол також має II клас небезпеки з ГДКрз = 0,3 мг/м<sup>3</sup>, і його присутність у повітрі робочої зони вимагає спеціального захисту шкіри та очей [14].

## 1.2 Аналіз характеристик пиловловлюючого обладнання, що застосовується в системах аспірації на деревообробних підприємствах

Одним з основних елементів, що забезпечують знепилення повітря робочої зони є пиловловлюючі апарати, в яких повітря піддається очищенню від пилу перед викидом в атмосферу, та безвідмовність яких багато в чому визначає надійність аспіраційних систем.

Перелік пилоочисного обладнання, що застосовується в деревообробній промисловості наведено в табл. 1.4 [1, 2, 4, 6, 9, 10, 12, 18].

Таблиця 1.4 – Характеристики пилоочисного обладнання, що застосовується в деревообробній промисловості

Назва пиловловлюючого обладнання	Тип або марка	Ефективність вловлювання	Спосіб очищення	Примітка
1	2	3	4	5
Циклон	ЛТА	85-90	сухий	
Циклон зі зворотним конусом		70	сухий	
Циклон ДНІОГ азу	ЦН-11	95	сухий	Рекомендовані для очищення повітря від крупних фракцій пилу
	ЦН-15	95	сухий	
Циклон	ОЕКДМ К	80	сухий	Модель промислового пиловловлювача, удосконалена збірником для стружки, завдяки якому стало можливим відділення мокрої стружки.

Продовження табл. 1.4				
1	2	3	4	5
Циклон	УЦ	95-99	сухий	Призначений для вловлювання пилю, що не злипається, а також суміші пилю зі стружкою та тирсою
Циклон спіральний	СЦН	90-98	сухий	Очистка технологічних викидів від всіх видів пилю, що злипається
Циклон	К	<75 мкм – 45; 75-100 мкм – 58; 100-150 мкм – 65; 150-200 мкм - 80	сухий	Рекомендується застосовувати як розвантажувач у системах аспірації, які видаляють відходи, що не містять пилю
Циклон Гіпродревпрому	Ц	<75 мкм – 45; 75-100 мкм – 65; 100-150 мкм – 65; 150-200 мкм - 75	сухий	
Пиловловлювач ударно-змивної дії	УДС-ЛЮТ	85-100	мокрый	
Фільтр повітря мокрий	ФВМ	99	мокрый	
Циклон з водяною плівкою	ЛЮТ-ЦВП	90-98	мокрый	
Циклон	ЛЮТ	97	сухий	Для вловлювання металевого та шліфувального пилю
Фільтр рукавний	ФРО, ФРОС	99,9	сухий	
Фільтр рукавний	ФРКІ	99,9	сухий	Для вловлювання мілкодисперсного неаргесивного вибухонебезпечного пилю з медіаном розміром частинок 3-5 мкм
Пиловловлювач вентиляторний мокрий	ПВМ	99	мокрый	Для всіх видів пилю, за виключенням пилю, що здатний утворювати міцні відкладення.

На деревообробних підприємствах для уловлювання деревного пилу головним чином використовують циклони.

Циклон типу Ц (рис. 1.1) складається з циліндричної та конічної частин корпусу, вхідного патрубку з тангенціальним завихрювачем, зонту та вихлопної труби із сепаратором. Сепаратор, який працює за принципом жалюзійного пиловловлювача з гвинтовим входом, служить для додаткового очищення. Але, як свідчить досвід експлуатації циклону Ц, сепаратор не виконує свою функцію, так як в процесі роботи забивається стружкою та дрібнодисперсним пилом, внаслідок чого аеродинамічний опір циклону зростає, а ефективність уловлювання пилу різко знижується. Тому найчастіше циклони Ц виготовляють без сепаратора. При цьому їх ефективність практично не відрізняється від заявленої розробником, але спрощується конструкція та зростає надійність роботи [1, 2, 4, 6, 10, 12, 18].

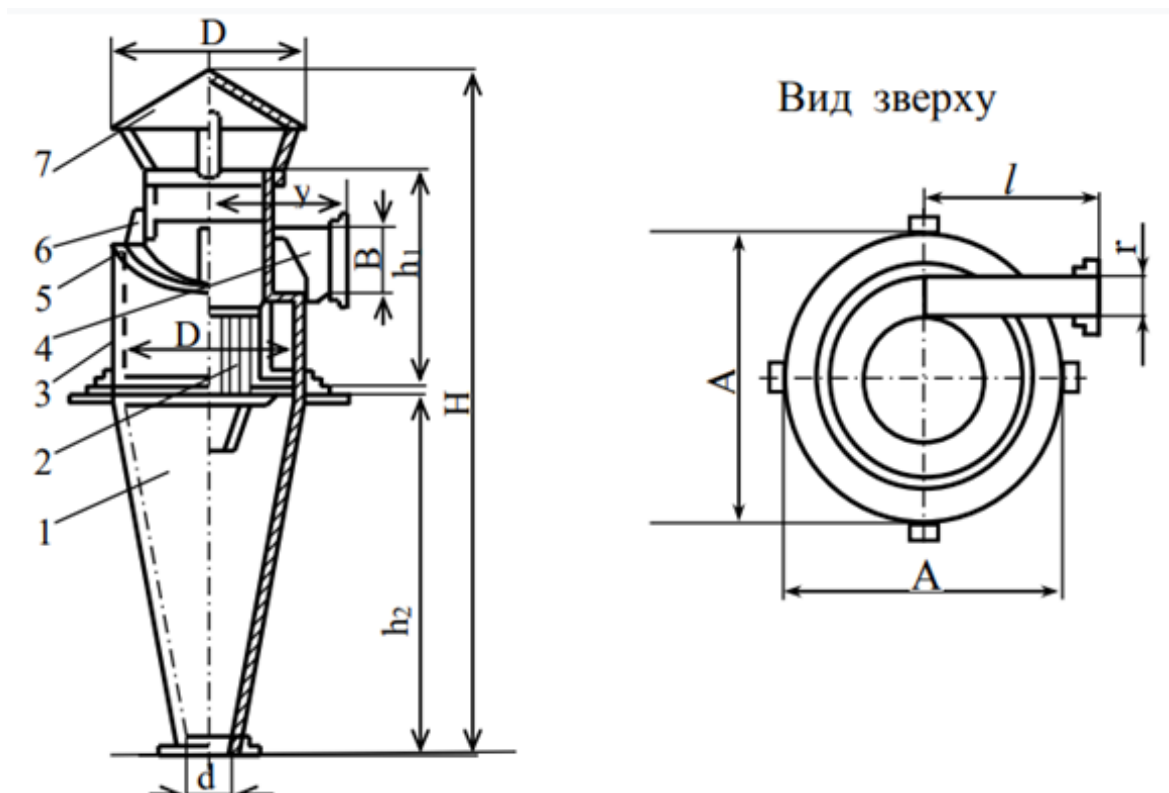


Рис. 1.1 – Циклон Гіпродревпрому типу Ц: 1 – конус; 2 – сепаратор; 3 – корпус; 4 – вхідний патрубок; 5 – кришка; 6 – косинка; 7 – зонт.

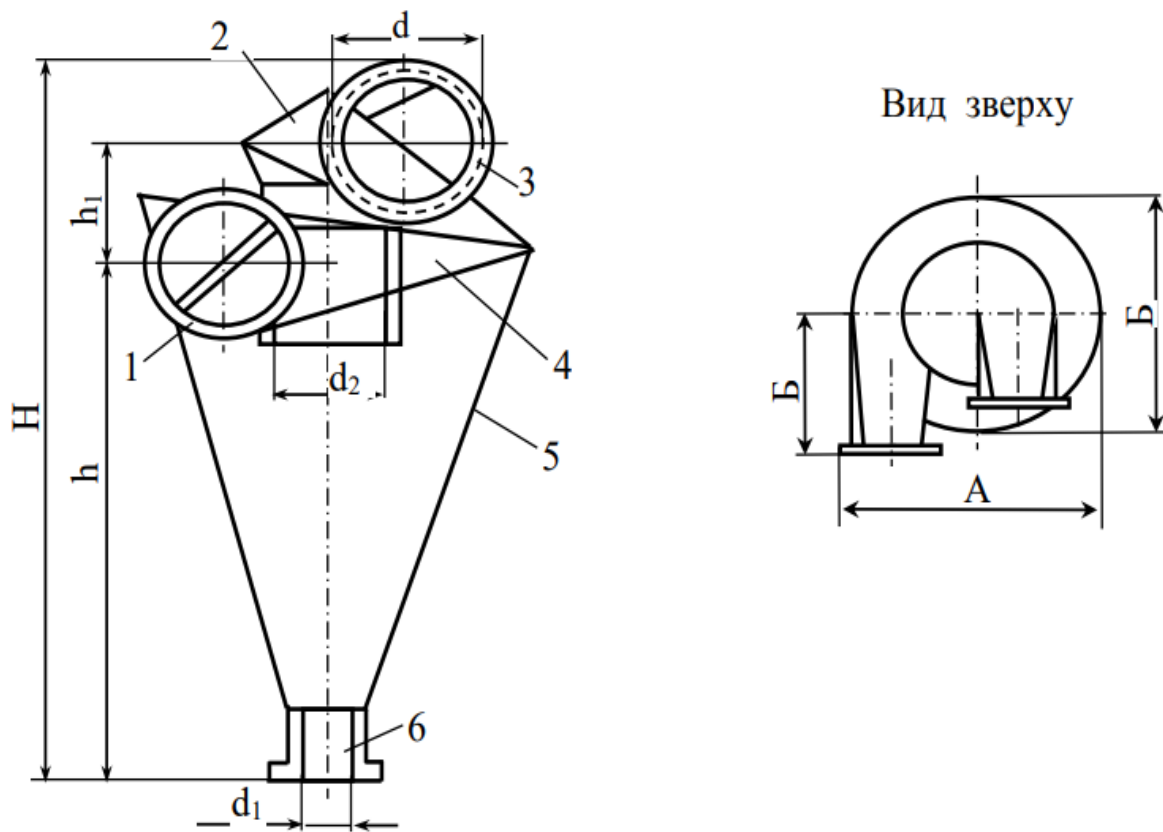


Рис. 1.2 – Циклони конструкції CIOT: 1 – вхідний патрубок забруднених газів; 2 – розкручувач; 3 – патрубок для відведення очищених газів; 4 – кришка; 5 – корпус у вигляді конуса; 6 – патрубок для видалення пилу.

Сухі циклони CIOT-M і CIOT-M1 (рис. 1.2) призначені для грубого та середнього очищення газів від сухого неабразивного пилу, що не злипається [19, 20].

Основними складовими частинами модернізованого циклону CIOT-M (рис. 1.2) підвищеної ефективності є корпус з вхідним патрубком та вихлопною трубою, бункер із затвором та розкручувач потоку. У нижній частині корпусу встановлюється глуха циліндрична вставка. Для зручності монтажу вставки по осі пиловипускного отвору корпусу циклону передбачено пристрій у вигляді конічної манжети з фланцем, що встановлюється на кришці бункера. У нижній вставці є диск з штирями, привареними до манжети. Довжина штирів визначає розмір кільцевого зазору, через який пил з корпусу надходить у бункер. Бункер – зварний, складається з верхньої циліндричної та нижньої конічної частин [19].

У циклонах СІОТ-М у пиловипускному отворі встановлюється глуха циліндрична вставка, внаслідок чого штучно знижується інтенсивність вихору у нижній частині циклону, що веде до ліквідації радіальних течій у нижній частині корпусу та в бункері на поверхні пилу, що відклався і, як наслідок, до зменшення вторинного винесення пилу. Отримана за рахунок введення вставки сприятлива структура потоку не порушується у процесі експлуатації через зменшення розрахункового об'єму бункера під час заповнення його пилом. Крім того, вставка відокремлює бункер від порожнини корпусу циклону таким чином, що осьовий висхідний вихор починає рух вже не з поверхні пилу, що відклався в бункері, а з верхнього торця вставки. Вставка відокремлює низхідний збагачений пилом потік від висхідного вихору чистого газу в нижній частині корпусу в зоні пиловипускного отвору. В результаті вторинне винесення уловленого пилу з бункера знижується у 3,5–5 разів [19].

У циклонах СІОТ-М1 використано принцип дії вихрових пиловловлювачів, у яких підведення запиленого газу та очищення його від пилу відбуваються в центральній частині у висхідному закрученому потоці, а рух низхідного збагаченого пилом потоку здійснюється по периферії. Аналогічно цьому по порожній вставці знизу по осі в циклон подається додатковий запилений потік. Для збереження крутки потоку в центральній частині циклону додатковий потік закручується в той же бік, що і основний, у спеціальному закручувачі. Відділення частини пилу у цьому випадку здійснюється як у верхній частині циклону з основного потоку, так і в нижній частині корпусу додаткового потоку. Осадженні з обох потоків на стінки частинки переміщуються низхідними течіями основного потоку вниз через кільцевий пиловипускний отвір у бункер [19].

Для уловлювання пилу на деревообробних підприємствах може використовуватись циклон з конусом-коагулятором ЦКК (рис. 1.3) [10].

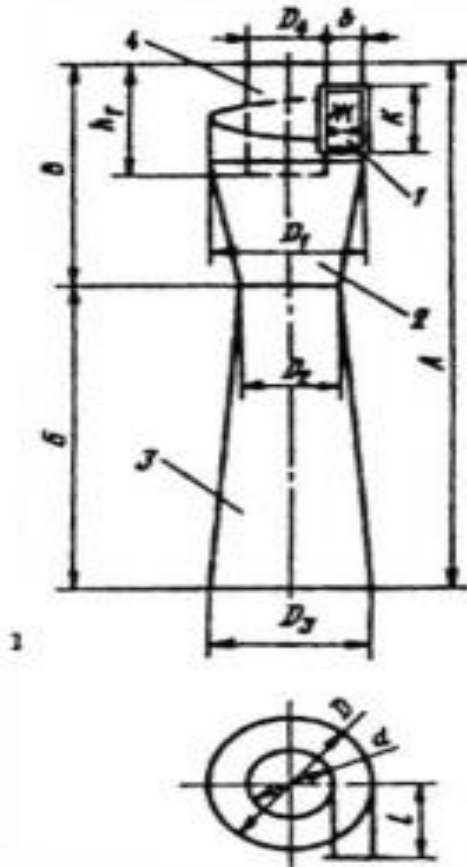


Рис. 1.3 – Циклон з конусом-коагулятором ЦКК:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – конус-коагулятор; 3 – зворотний конус;  
4 – вихідний патрубок

Характерна риса цього апарату – наявність додаткового елемента у вигляді конуса-коагулятора, в якому внаслідок збільшення швидкості відбувається турбулізація потоку. В результаті цього волокнисті пилові частинки коагулюють з утворенням стійких агрегатів, та ефективність очищення збільшується [10].

На базі циклону ЦН-15 розроблено циклон із внутрішньою рециркуляцією ЦВР (рис. 1.4), призначений для уловлювання сухого незлиплого дрібнодисперсного пилу [10, 20]. Від свого прототипу цей апарат відрізняється тим, що у вихідній трубі є щілинний отвір і гвинтоподібна спрямовуюча стрічка. Найбільш насичена частина потоку через щілинний отвір,

що проходить через вихлопну трубу, потрапляє в щілинний отвір і прямує на повторне очищення в корпус циклону.

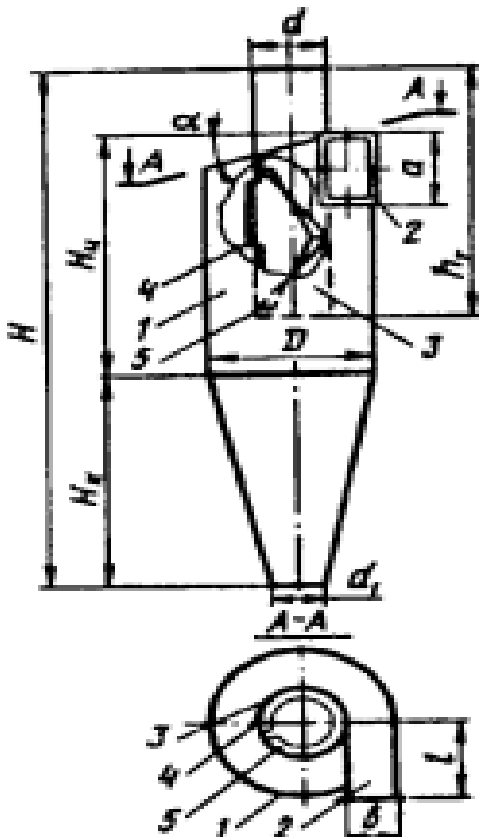


Рис. 1.4 – Циклон ЦВР:

1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – спрямовуюча стрічка; 4 – щілина для підсмоктування повітря з залишковою запиленістю; 5 – вихлопна труба

Для інтенсифікації процесу направлення пилових частинок до щілинного отвору на внутрішній поверхні вихлопної труби встановлена гвинтоподібна спрямовуюча стрічка. Застосування внутрішньої рециркуляції забезпечує підвищення ефективності апарату [10].

На рис. 1.5 показано сферичний циклон, корпус якого має форму кулі. Запилене повітря подається в апарат по дотичній до верхньої частини циклону через патрубки, яких має бути не менше двох, і виводиться в верхню частину апарату через вихлопну трубу. По периметру самого великого перерізу сфери у стінці корпусу розташовані вертикальні щілинні отвори [10, 20].

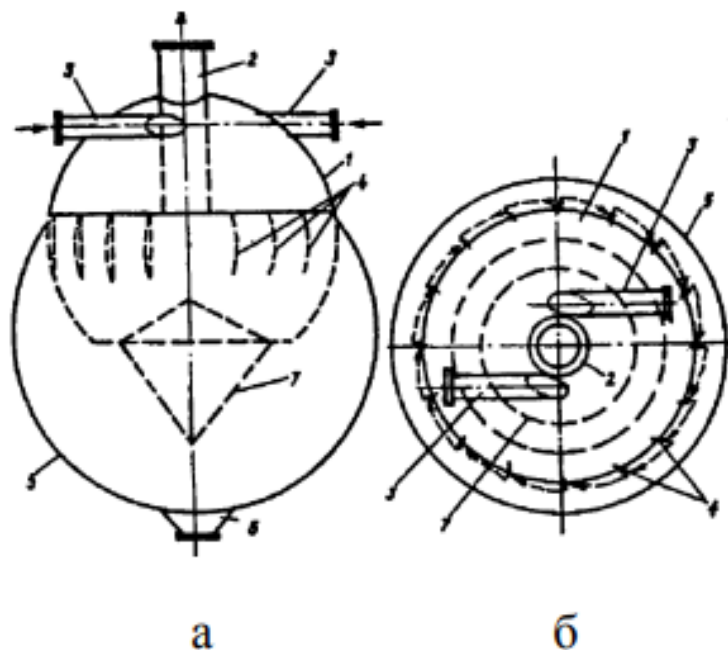


Рис. 1.5 – Сферичний циклон: а – вид збоку; б – вид зверху.

- 1 – корпус; 2 – вихлопна труба; 3 – вхідні тангенційні патрубки;  
 4 – проріз; 5 – бункер пилозбірника; 6 -пиловідвідний патрубок;  
 7 – відбивач

Пилозбірник також має сферичну форму (радіус пилозбірника в 1,4 рази більше радіуса корпусу) і верхнім краєм прикріплюється до корпусу на рівні верхнього краю щілинних отворів. На цьому ж рівні розташовано нижній зріз вихлопної труби [10]. У пилозбірнику розташований відбивач з прямого та зворотного конусів, у верхній частині – отвір з патрубком для випуску пилу [10].

Запилене повітря, що подається в апарат, рухається вниз по спіралі вздовж стін корпусу. Частинки з розмірами понад 100 мкм рухаються біля стін корпусу під дією відцентрових сил і, досягнувши рівня прорізів, видаляються з частиною повітря через щілинні отвори в пилозбірник. Дрібні частинки (з розмірами менше 10 мкм) рухаються у повітряному потоці в корпусі апарату на деякій відстані від його стінок і залишають корпус через випускний патрубок разом із великими частинками [10]. На думку авторів апарату, підвищення ефективності (98–99% для часток з розмірами 10–50 мкм) забезпечується за

рахунок більш рівномірної подачі, розподілу та закручування пилогазового потоку [10].

У тих випадках, коли циклонами не забезпечується необхідний ступінь очищення, застосовується двоступінчаста система з установкою за циклоном іншого пиловловлюючого обладнання (рис. 1.6) [1].

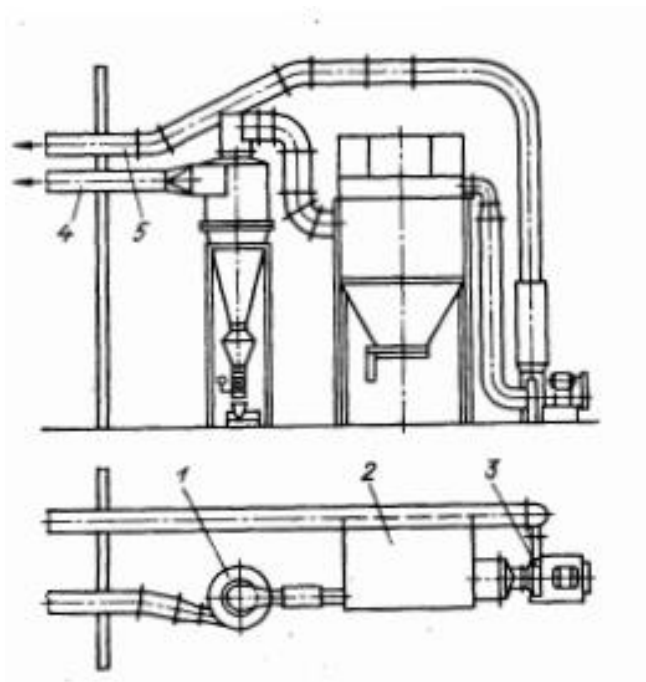


Рис. 1.6 – Компонування обладнання:

1 – циклон; 2 – рукавний фільтр; 3 – вентилятор; 4 – повітропровід від деревообробних верстатів; 5 – рециркуляційний повітропровід

В останні роки все більшого поширення набувають пиловловлюючі агрегати для очищення повітря від пилу, стружки та тирси, що утворюються при обробці деревини на деревообробних верстатах, з поверненням його до приміщення.

На рис. 1.7 показаний рециркуляційний пиловловлюючий агрегат (ПВА), призначений для очищення повітря від великодисперсного сухого, незлиплиго, неабразивного пилу, що утворюються під час роботи деревообробних верстатів [21]. ПВА встановлюють у виробничих приміщеннях у безпосередній близькості від обладнання та верстатів, що потребують аспірації.

Модифікації агрегата залежно від потужності дозволяють під'єднати від 1 до 4 місцевих відсмоктувачів (рис. 1.8). Ефективність очищення від пилю становить 99,5 % при медіанному діаметрі частинок не менше 30 мкм [21].

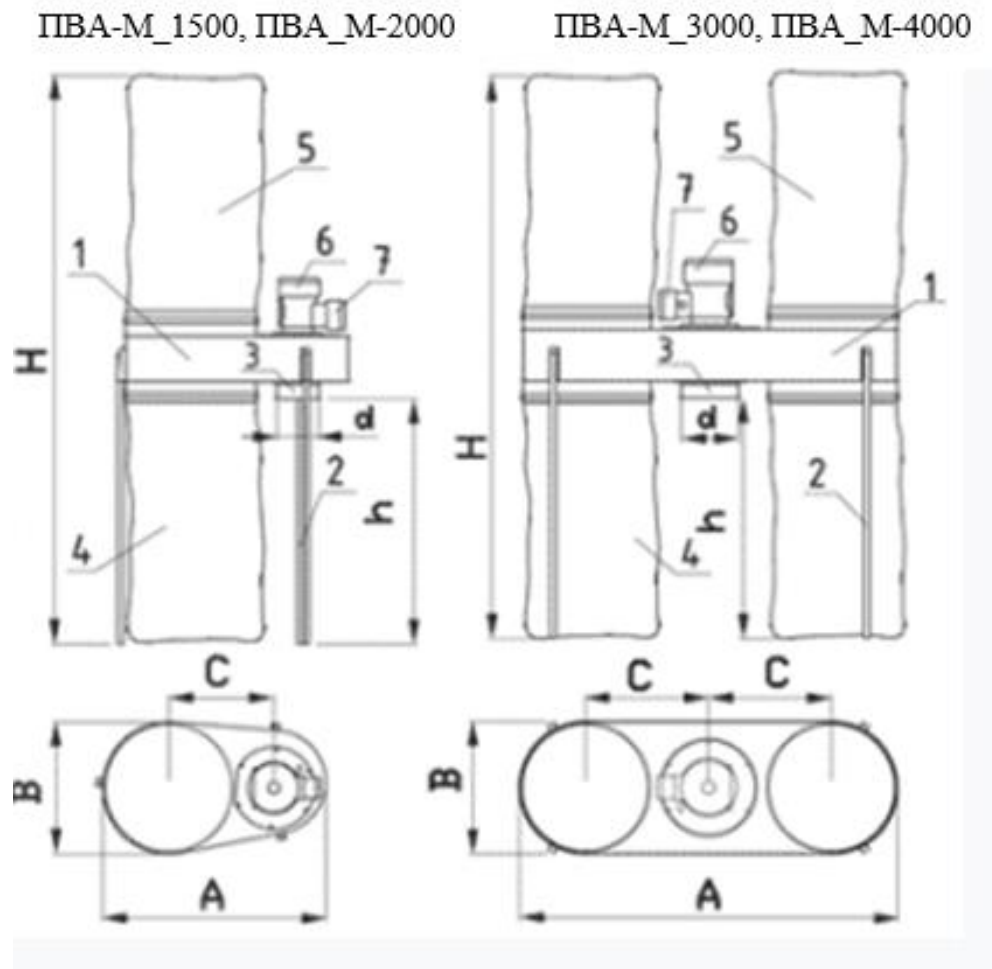


Рис. 1.7 - Влаштування агрегату ПВА:

- 1 – корпус апарату; 2 – стійка; 3 – вхідний патрубков; 4 – пилозбірний мішок;  
 5 – фільтрувальний мішок; 6 – вентилятор; 7 – електродвигун

Агрегат складається з вентилятора, під'єданого до нього циклонного елемента, рами, рукава для уловлювання пилю, пилозбірного мішка, всмоктувального гнучкого шланга, електродвигуна, хомутів для кріплення рукава та мішка, тумблера включення. Конструкція дозволяє змінювати розташування вхідного патрубка з нижнього до верхнього [21, 23].

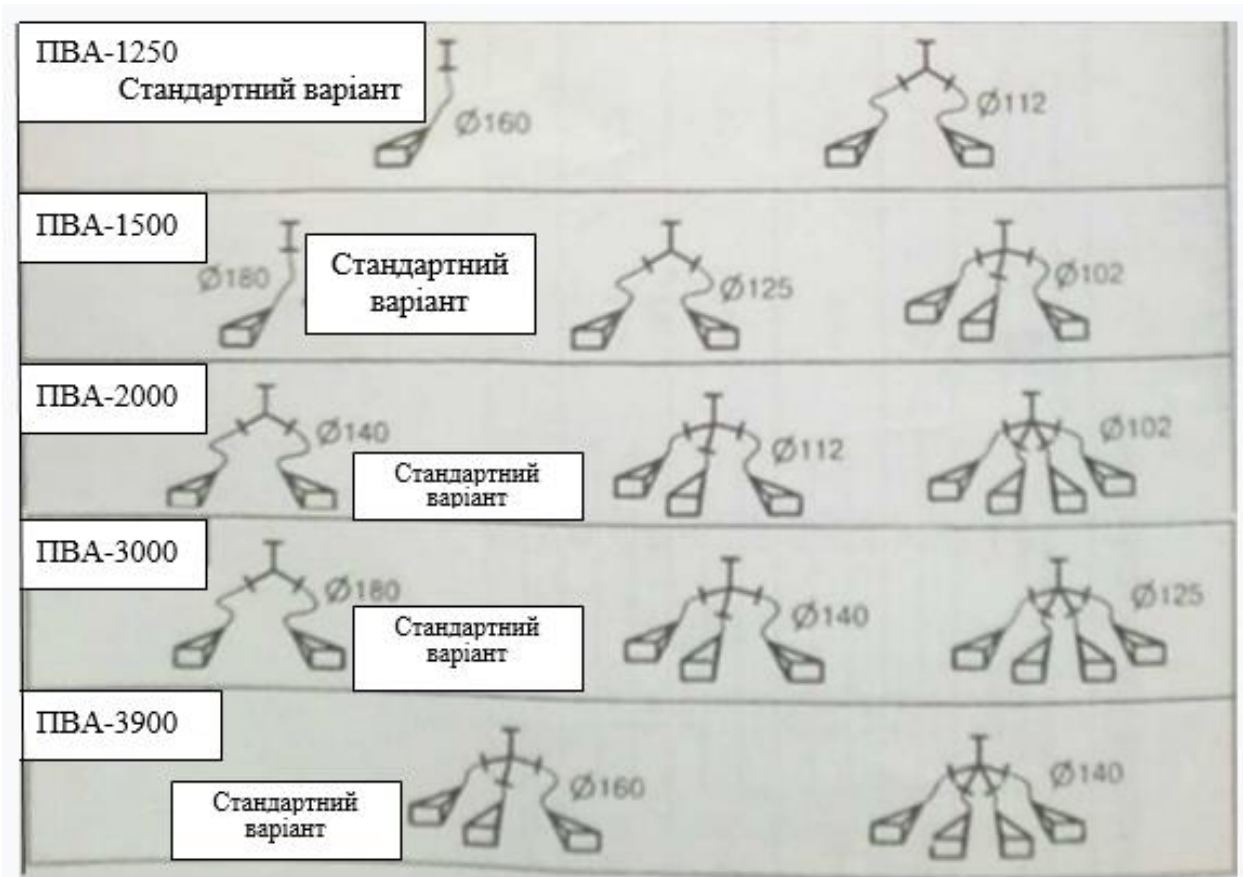


Рис. 1.8 - Варіанти приєднання місцевих відсмоктувачів до агрегату ПВА

Повітря, що містить зважені частки, засмоктується вентилятором від місця пилоутворення через гнучкий шланг, попередньо очищається в циклонному елементі від великих частинок, які зсипаються в пилозбірний мішок, і надходить на доочищення в рукав для уловлювання дрібного пилу. Відфільтроване чисте повітря повертається до цеху. У міру заповнення пилозбірний мішок звільняється від пилу та стружки [21].

На рис. 1.9 показаний загальний вигляд пиловловлюючого агрегату ПВАД, який з ефективністю до 93 % використовується для очищення повітря (з подальшим поверненням до цеху) при обробці деревини [21, 22].



Рис. 1.9 – Загальний вид рециркуляційного пиловловлюючого агрегату ПВАД

Також при обробці деревини можуть використовуватись стружкопилосос (СР) (рис. 1.10), призначені для видалення стружки, тирси та пилу [21]. Установки СР-1200 та СР-1500 застосовуються для роботи з деревообробним обладнанням, СР-1200А - при заточувально-шліфувальних роботах. Установа СР-1500ДУ призначена для обслуговування двох або трьох деревообробних верстатів та додатково має функцію прибирання підлоги при монтажі її на рамі на колесах. Установки СР-3200, СР-4800 та СР-7000 також можуть обслуговувати два або три деревообробні верстати, якщо об'єм повітря, що відсмоктується, не перевищують 3200 м<sup>3</sup>/год, 4800 м<sup>3</sup>/год та 7000 м<sup>3</sup>/год відповідно [21].

Повітряний потік через всмоктуючий патрубок по повітроводу надходить в центральну частину равлика. Внаслідок дії відцентрових сил зважений у потоці пил випадає з потоку на стінки корпусу установки. Великі частинки випадають із потоку під дією власної ваги, осипаються у мішок-накопичувач, дрібні затримуються у фільтрі [21].



Рис. 1.10 – Установка СР – загальний вигляд

Для уловлювання абразивного пилю можуть застосовуватись інерційно-рукавні пиловловлювачі ІРП (рис. 1.11, 1.12) [23], конструкція та принцип дії якого аналогічні апарату ПВА.



Рис. 1.11 - Пиловловлювальний агрегат ІРП – загальний вигляд

Агрегат здійснює двоступеневу очистку повітря, що відсмоктується. Перший ступінь очищення – сухий циклон; другий ступінь – чотирнадцятирукавний тканиний фільтр (рис. 1.12) [21].

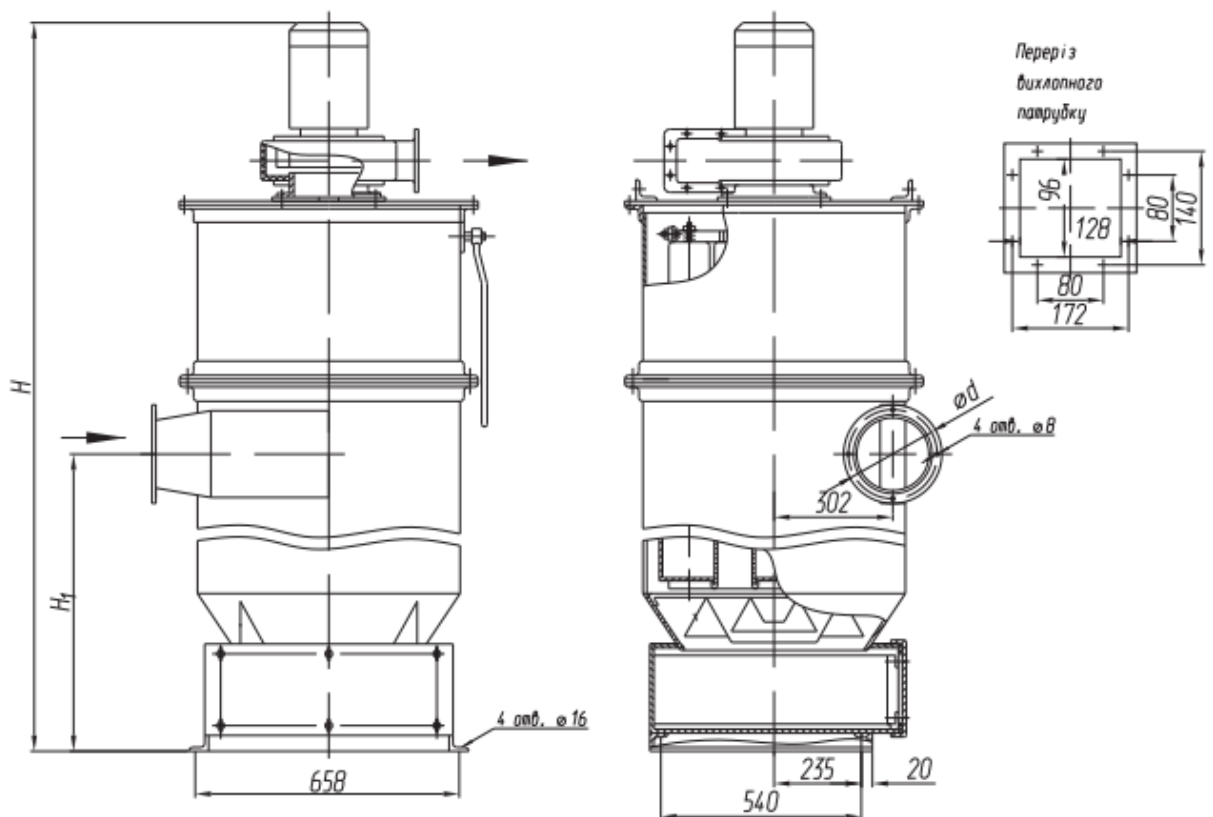


Рис. 1.12 – Інерційно-рукавний пиловловлювач ІРП – конструктивна схема

Пиловловлювач працює за рециркуляційною схемою. Очищене повітря надходить в обслуговуване приміщення. Пиловловлювач складається з верхнього та нижнього корпусів, в яких розташований блок рукавів з механізмом струшування, відбивачі і піддон з кришкою. Нижній корпус має вхідний патрубок для під'єднання до повітропроводів, через який видаляється запилене повітря від місць пилоутворення. Зверху на корпусі встановлюється вентилятор. При обертанні робочого колеса вентилятора створюється розрідження в нижньому корпусі, і забруднене повітря надходить через патрубок, з'єднаний з соплом місцевого відсмоктування в зазор між цим корпусом і кільцем. За рахунок відцентрових сил великі частинки пилу переміщуються до периферії корпусу і далі надходять через відбивачі в піддон. Дрібні частинки пилу надходять в блок рукавів з внутрішньої сторони. За рахунок фільтрації через тканину рукавів повітря остаточно очищується від дрібного пилу і надходить через вентилятор в обслуговуване приміщення. Регенерація блоку рукавів здійснюється шляхом переміщення рукоятки, яка, діючи на механізм струшування, очищає тканину рукавів від осілого пилу, що видаляється також у піддон [21, 23].

### **1.3 Обґрунтування та вибір напряму досліджень**

Відповідно до [24], до шкідливих виробничих факторів, дія яких на працюючих можлива у технологічних процесах обробки деревини, віднесені підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони.

Як зазначалося вище, пил деревний віднесений до IV класу небезпеки, тобто вважається малонебезпечним [13, 14]. Разом з тим, слід зазначити, що цей пил – аерозоль переважно фіброгенної дії, який в виробничих умовах може викликати алергічні реакції, а також призводить до різних захворювань органів дихання, шкіри та очей, до розвитку пневмоконіозу та пилового бронхіту.

Невипадково деякі дослідники вважають, що слід переглянути питання про віднесення деревного пилу до класу малонебезпечних речовин та питання про нормативний вміст у повітрі робочої зони, встановленому ще в 30-ті роки ХХ століття [16, 25].

Вирішенням питань, пов'язаних зі зниженням запиленості повітряної середовища на підприємствах деревообробної промисловості, зокрема на підприємствах з виробництва деревних будівельних матеріалів, займалися багато дослідників – Балтук В.А., Мадані М.М., Козій І.С., Дадак Ю.Р., Ратушняк Г.С., Шушляков О.В. та інші [4, 6, 15, 20, 26].

Однак у зв'язку з «малою небезпекою» деревного пилу ці дослідження в більшою мірою були спрямовані на вирішення питань, пов'язаних із зниженням пилових викидів в атмосферне повітря, і меншою мірою – на вирішення проблем знепилення повітря робочої зони.

Відзначається багатьма дослідниками, що висока запиленість повітря на робочих місцях верстатників у виробництві дерев'яних конструкцій та виробів в першу чергу обумовлена неефективною та нестійкою роботою аспіраційних систем. Досвід експлуатації таких установок показує, що в процесі роботи на внутрішніх поверхнях горизонтальних повітроводів утворюються відкладення пилу. Внаслідок цього знижується об'єм повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами від обладнання, внаслідок чого відбувається вибивання пилу в повітря робочої зони. Також знижується об'єм переміщеної по системі пилоповітряної суміші та, відповідно, транспортуюча здатність повітря, що призводить до інтенсифікації процесів відкладення пилу і може спричинити відмову системи аспірації.

З урахуванням цього як напрямок досліджень було обрано вивчення основних властивостей пилу, що утворюється при механічній обробці деревини різних порід.

Для зниження викидів деревного пилу в атмосферу під час виробництва дерев'яних конструкцій у централізованих системах аспірації застосовуються в основному циклони, у тому числі апарати, що використовують вихрові ефекти (циклон СІОТ-М, сферичний пиловловлювач). Також можлива двоступінчаста система пилоочищення, що включає циклон і тканинний фільтр.

Разом з тим, сам деревний пилок має абразивні властивості, і, крім того, разом з ним на очищення надходять абразивні частки, що утворюються при роботі ріжучого інструменту, шліфувальних кругів, а також при заточенні різальних інструментів, що може призвести до абразивного зносу апаратів пилоочищення і, отже, до настання відмови.

Крім того, неможлива уніфікація пилоочисного обладнання, оскільки для кожного виду пилу потрібна певна конструкція агрегату.

Слід також зазначити, що деревообробне виробництво за пожежонебезпечністю відноситься до категорії В (пожежонебезпечне) та за існуючими вимогами пилоочисне обладнання для таких виробництв має виноситися за межі виробничого приміщення та розташовуватися з відривом щонайменше 10 м від зовнішніх стін [24]. З цього погляду рециркуляційні агрегати, маючи пилонакопичувачі, можуть бути джерелами пожежі. З урахуванням викладеного вище перевагу слід віддавати централізованим системам аспірації.

#### **1.4 Висновки до першого розділу**

1. Проведений аналіз показав, що під час виробництва конструкцій з деревини у повітря робочої зони надходять різні забруднюючі речовини, до яких відносяться фенол, формальдегід, аміак та пилок від деревообробних та металообробних верстатів.

2. Для очищення викидів в атмосферу у централізованих системах аспірації та пневмотранспорту використовуються переважно циклони, у тому числі циклонні апарати, в яких реалізуються вихрові ефекти.

3. Індивідуальні знепильючі агрегати, що застосовуються при децентралізованій аспірації, мають низку істотних недоліків.
4. Обґрунтовано та обрано напрямки досліджень.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ І ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИЛУ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

#### 2.1 Аналіз механічних властивостей деревини

Як зазначалося у п.п. 1.1 інтенсивність пилоутворення та ступінь негативного впливу пилу, що утворюється, залежить від механічних властивостей оброблювальної деревини. До механічних властивостей деревини відносяться міцність, твердість, жорсткість, ударна в'язкість тощо [27, 28].

Міцність деревини, що характеризується межею міцності, – це здатність деревини чинити опір руйнуванню від механічних зусиль. Ця властивість матеріалу залежить від напряму дії навантаження, породи дерева, густини, вологості та наявності вад [28].

Основні види дії сил – розтяг, стиск, згин, зсув. З точки зору інтенсивності пилоутворення особливе значення має останній вид. При цьому розрізняють три види зсуву – сколювання вздовж волокон, сколювання поперек волокон, перерізання [27]. За наявними даними міцність при сколювання уздовж волокон становить  $1/5$  частину від міцності при стисканні вздовж волокон. У листяних порід, що мають широкі серцевинні промені (бук, дуб, граб), міцність на сколювання по тангенціальній площині на 10–30 % вище, ніж за радіальною [27, 28]. Межа міцності при сколюванні поперек волокон приблизно вдвічі менше межі міцності при сколювання уздовж волокон. Міцність деревини при перерізанні поперек волокон у чотири рази вище міцності при сколюванні [28].

На міцність деревини істотно впливає тільки зв'язана волога, що міститься в клітинних оболонках. При збільшенні кількості зв'язаної вологи міцність деревини зменшується особливо при вологості 20–25 %. Подальше

підвищення вологості за межу гігроскопічності (30 %) не впливає показники міцності деревини [27].

Показники механічної міцності для деревних порід, оброблюваних на обстеженому підприємстві, при вологості 15 %, наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники механічної міцності деревини, [27]

Порода дерева	Механічна міцність деревини, МПа			
	на стискання вздовж волокон	на згин	сколювання	
			в радіальній площині	в тангенціальній площині
Хвойні деревні породи				
Сосна	43,9	79,3	6,9	7,3
Ялиця	33,7	51,9	4,7	5,3
Твердолистові деревні породи				
Липа	51,1	97,3	8,3	7,2
Дуб	52,0	93,5	8,5	10,4
Ясень	51,0	115	13,8	13,3
Бук	44,7	99,7	8,5	11

Твердість деревини - це її здатність чинити опір проходженню в неї твердіших тіл. Твердість залежить від густини деревини та неоднакова у всіх напрямках - у листяних порід твердість торцевої поверхні вище тангенціальної та радіальної на 30 %, у хвойних – на 40 % [27–29].

Твердість деревини також визначається такими факторами, як її вологість, вміст у річних шарах пізньої деревини, місця зростання та часу заготівлі. Так, наприклад, при підвищенні вологості деревини на 1 % торцева твердість зменшується на 3 %, тангенціальна та радіальна – на 2 % [28]. У разі збільшення пізньої деревини підвищується густина та покращуються механічні властивості матеріалу. Сосни, які виростили на сухому місці, мають прямі високі стовбури та їх деревина твердіше, ніж деревина сосен, що ростуть на

болотистих ґрунтах. Твердість деревини, зрубаного дерева в лютому, менша, ніж твердість деревини, зрубаного дерева в грудні [27,28].

В Україні та у європейських країнах твердість деревини прийнято оцінювати за шкалою Брінелля, США – за шкалою Янка [27, 29].

Для визначення твердості деревини методом Брінелля використовують індентор, який вдавлюється в поверхню дослідного зразка з регламентованим зусиллям. Як індентор застосовується кулька з загартованої сталі з діаметром 10 мм. По закінченню 30 с вимірюється глибина та ширина вм'ятини, що утворилася. Твердість деревини по Брінеллю розраховується як відношення величини прикладеного навантаження до площі поверхні вм'ятини. Що цей показник вище, тим твердіше дерево [27–29].

Всі деревинні породи при 12-процентній вологості поділяються на три групи за твердістю [27–29]:

1) м'які з торцевою твердістю 38,6 МПа і менше. До них відносяться сосна, ялина, ялиця, тополя, липа, осика, вільха;

2) тверді з торцевою твердістю від 38,6 до 82,5 МПа. До цієї групи входять береза, модрина, клен, ясен, бук, яблуня;

3) дуже тверді з торцевою твердістю понад 82,5 МПа – самшит, акація біла, кизил, граб.

За шкалою Брінелля твердість оброблюваної на підприємстві деревини складає: сосна – 2,49 кгс/мм<sup>2</sup>, липа – 2,6 кгс/мм<sup>2</sup>, дуб – 3,8 кгс/мм<sup>2</sup>, бук – 3,6 кгс/мм<sup>2</sup>, ясен – 4,0 кгс/мм<sup>2</sup> [29].

## 2.2 Дисперсійний аналіз

Для вивчення дисперсного складу пилу, що надходить у повітря робочої зони при обробці різних сортів деревини, була використана методика мікроскопічного аналізу [30, 31] із застосуванням ПК [33, 34], та комп'ютерною автоматизованою системи DUST [35].

Отримані експериментальні дані, а також за результати за [36] представлені на рисунках 2.1, 2.3, 2.5, 2.7, 2.9, 2.11 у вигляді диференціальних функцій щільності розподілу маси частинок пилу за діаметрами  $f(d_{\text{ч}})$ .

Інтегральні функції пофракційного розподілу маси частинок для пилу, що надходить у повітря робочої зони при обробці різних порід деревини, збудовані в логарифмічній сітці координат за результатами власних даних, наведені на малюнках 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 2.10, 2.12. Спрямування інтегральних кривих розподілу  $D(d_{\text{ч}})$  у логарифмічній координатній сітці свідчить про те, що розподіл маси частинок за діаметрами може бути виражено формулою Годена-Андрєєва-Шумана [37]

$$D(d_{\text{ч}}) = Ad_{\text{ч}}^l \quad (2.1)$$

де  $A, l$  – постійні.

В результаті обробки експериментальних даних отримано значення постійних, що входять у вираз (2.1):

– для пилу сосни

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,018 d_{\text{ч}}^{2,85}$$

– для пилу ялиці

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,038 d_{\text{ч}}^{2,37}$$

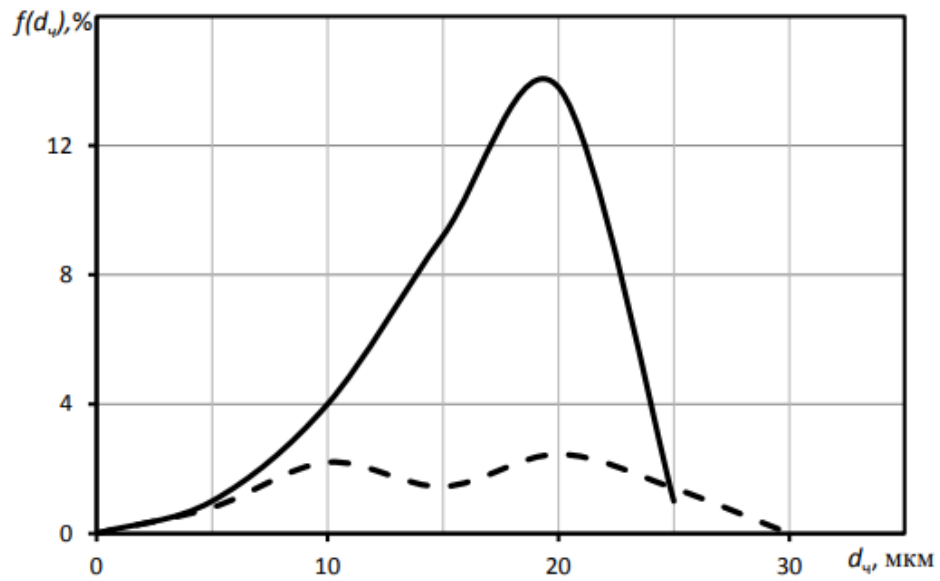


Рис. 2.1 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці сосни:  
 \_\_\_ – за результатами власних досліджень; \_ \_ \_ \_ – за даними [36]

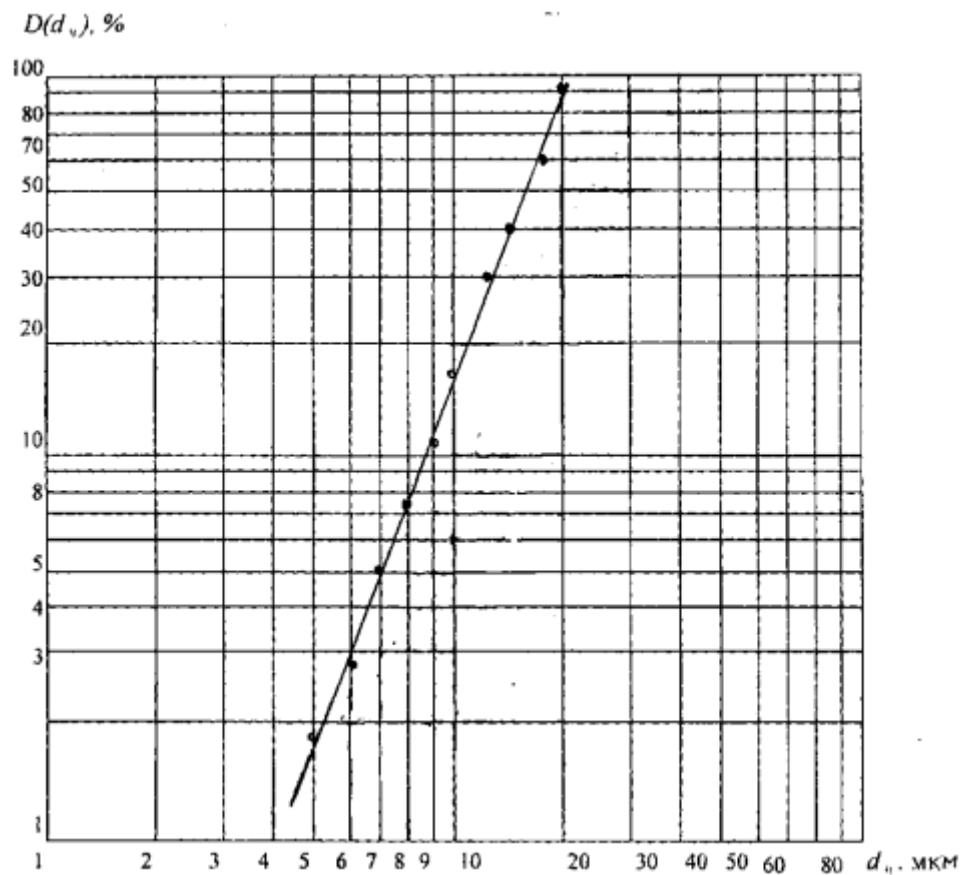


Рис. 2.2 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці сосни

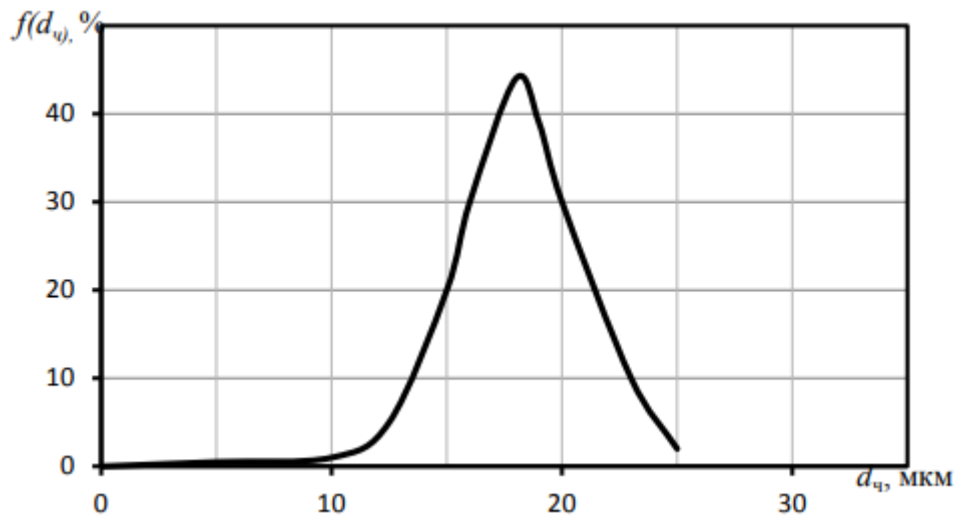


Рис. 2.3 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці ялиці:  
 \_\_\_ – за результатами власних досліджень; \_\_\_ – за даними [36] (відсутні)

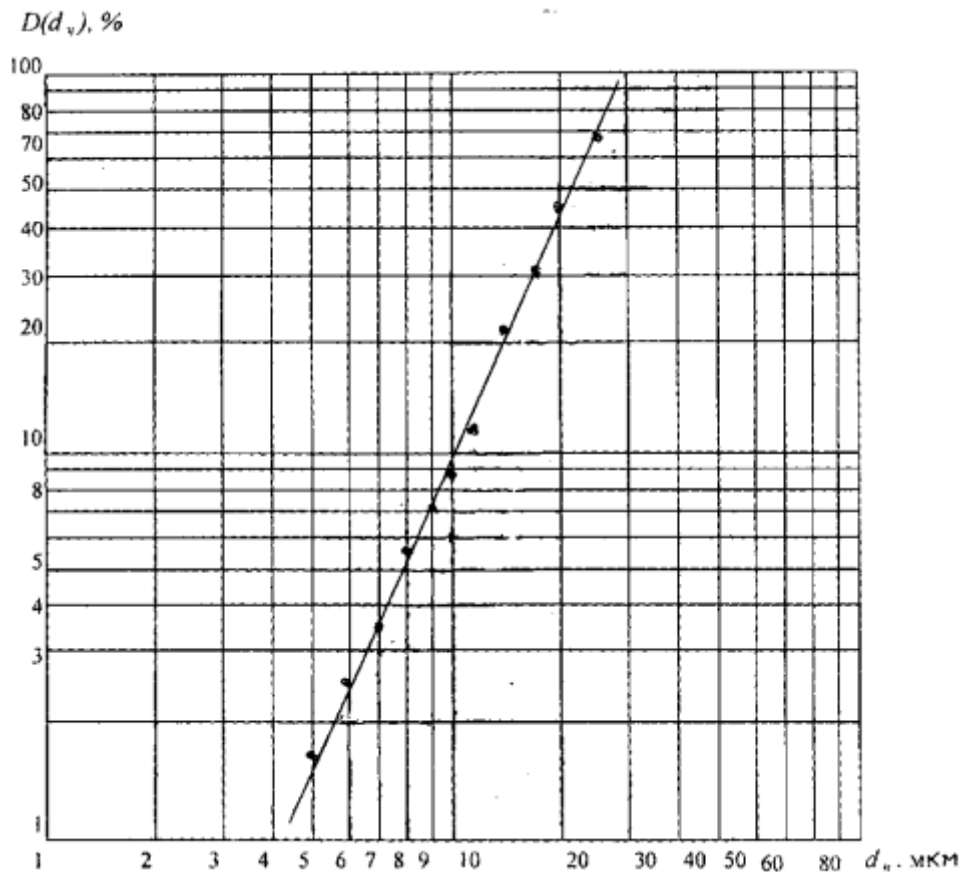


Рис. 2.4 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці ялиці

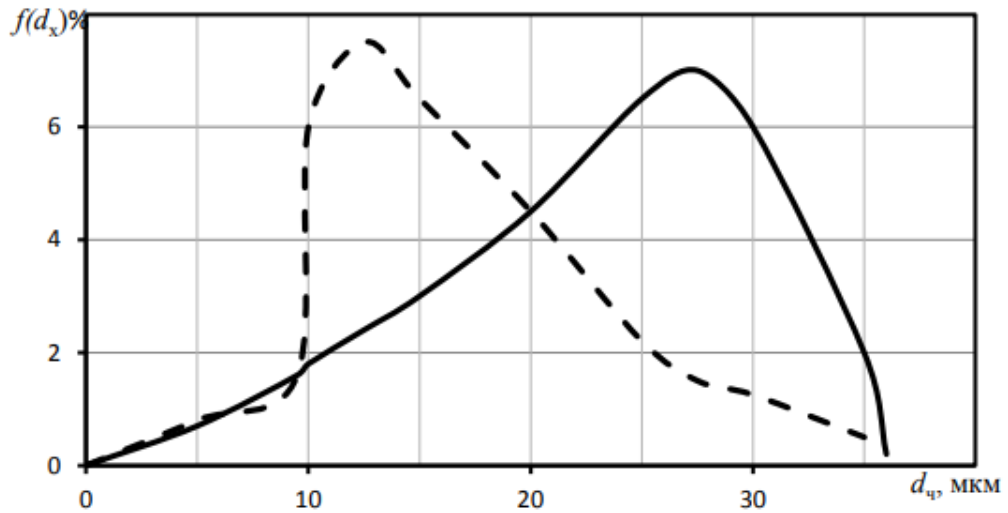


Рис. 2.5 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці липи:  
 \_\_\_ – за результатами власних досліджень; \_ \_ \_ – за даними [36]

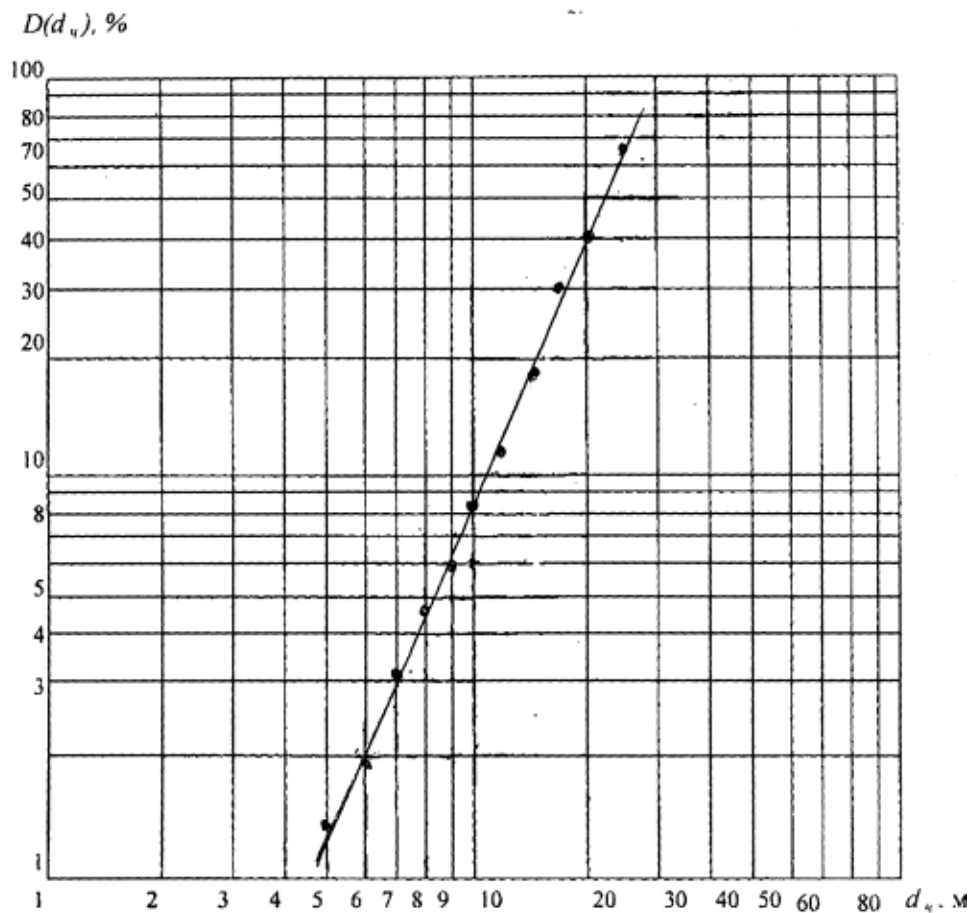


Рис. 2.6 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці липи

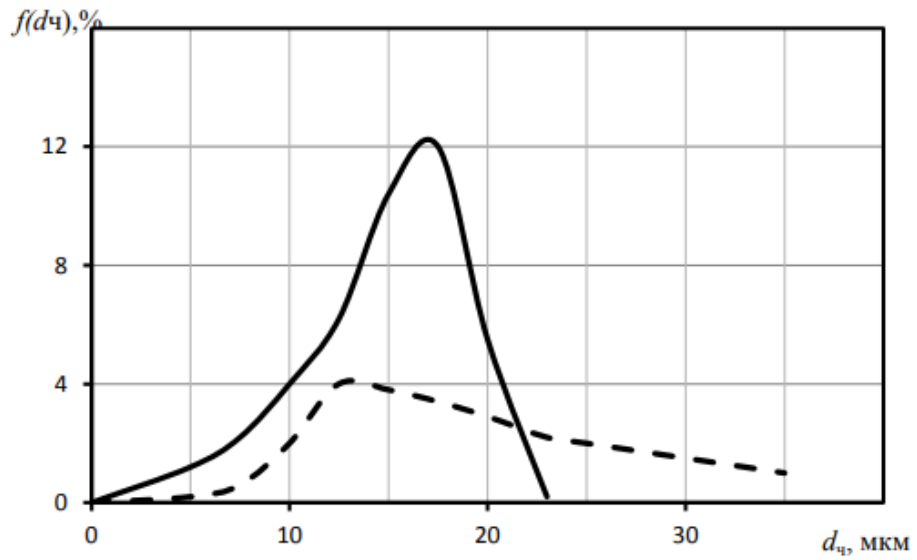


Рис. 2.7 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці ясеня:  
 — за результатами власних досліджень; - - - за даними [36]

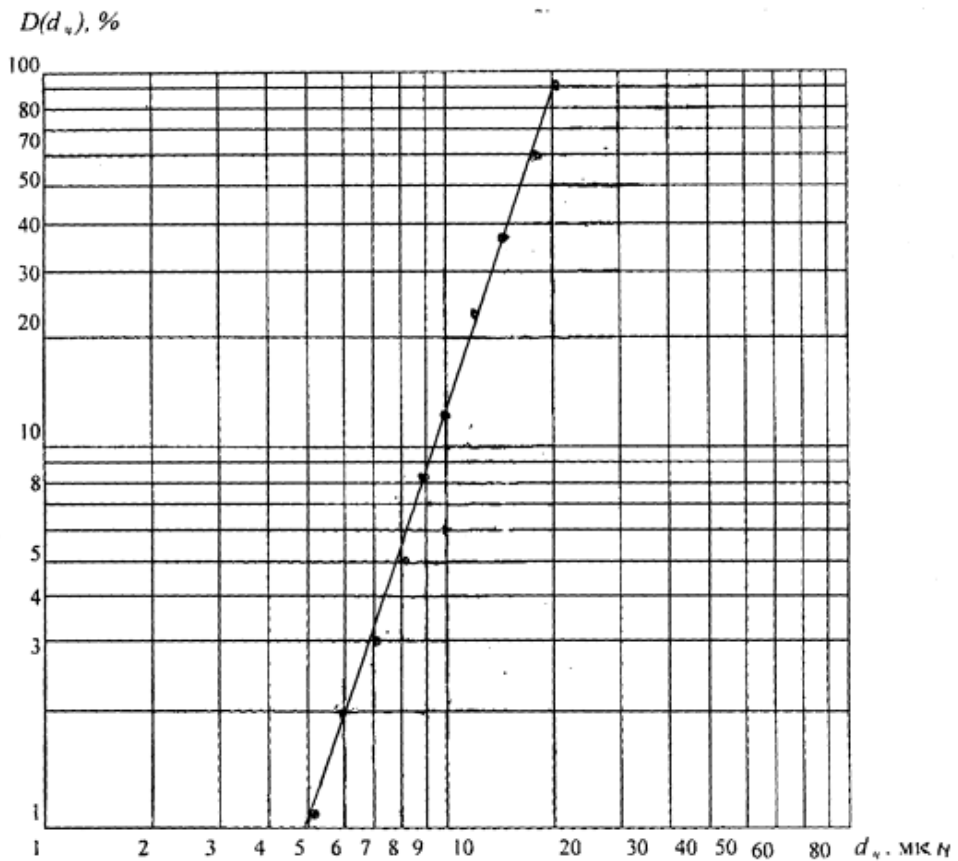


Рис. 2.8 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці ясеня

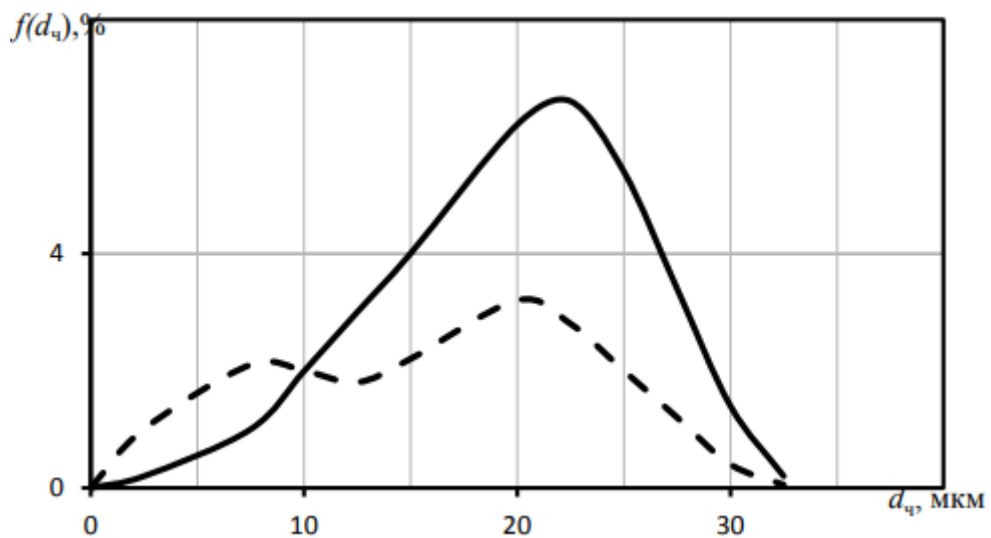


Рис. 2.9 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці бука:  
 — за результатами власних досліджень; - - - за даними [36]

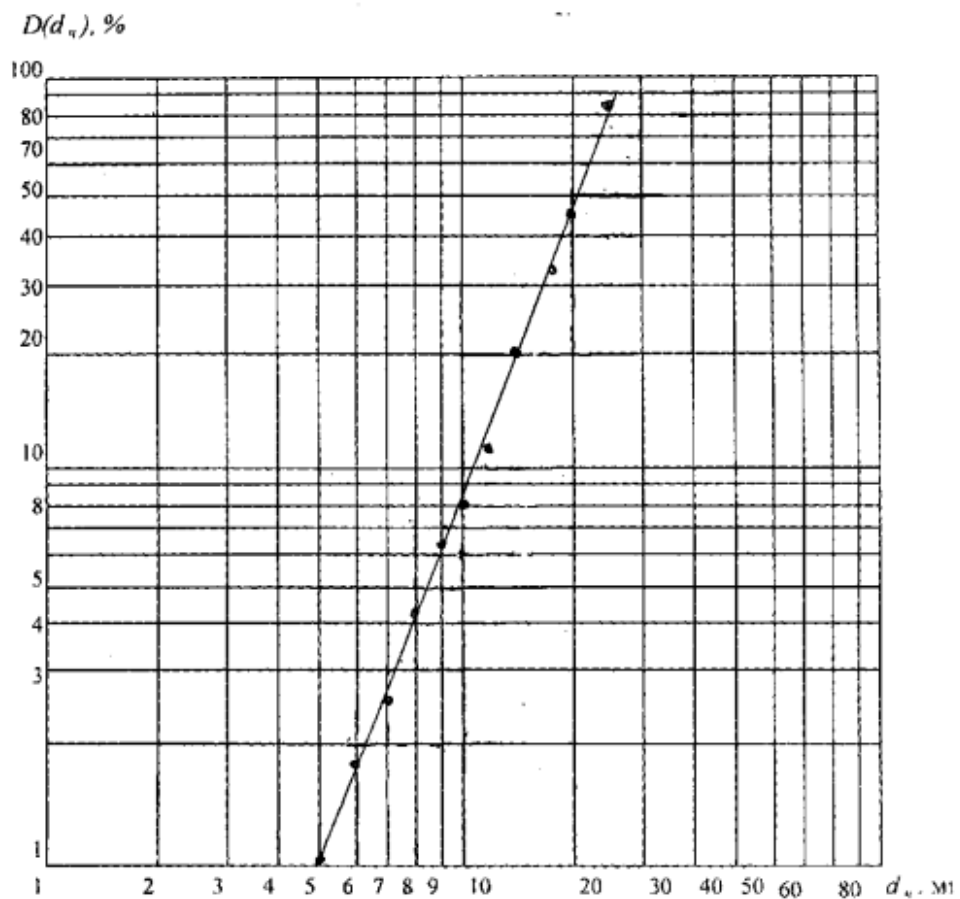


Рис. 2.10 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці бука

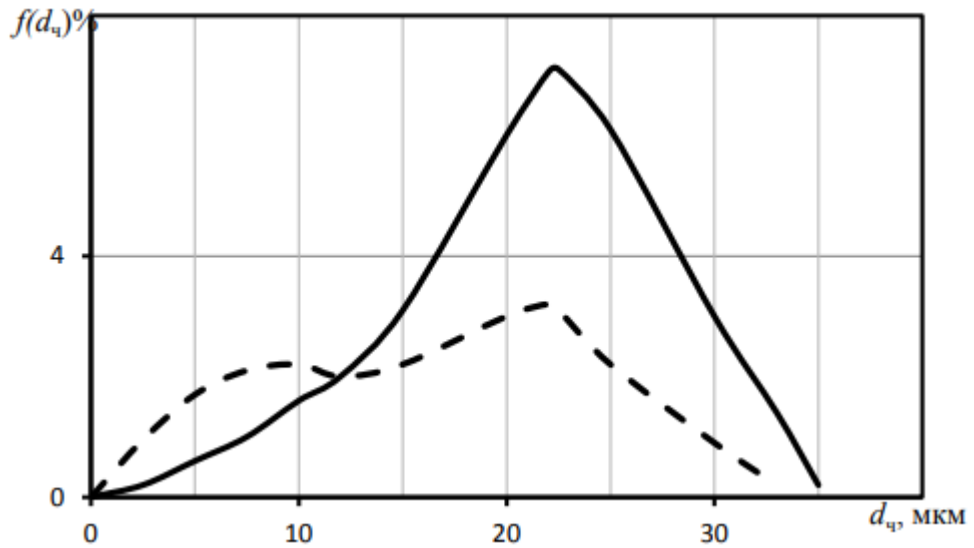


Рис. 2.11 – Диференціальні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці дуба:  
 \_\_\_ – за результатами власних досліджень; \_ \_ \_ – за даними [36]

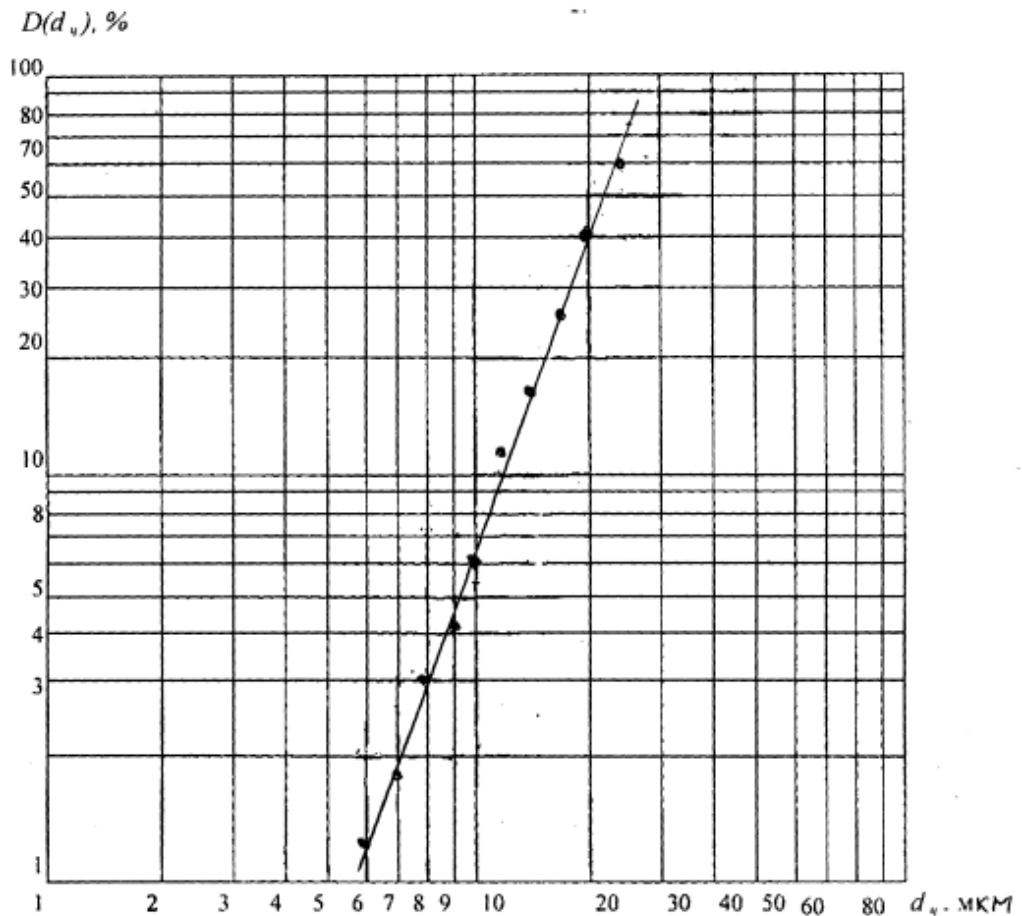


Рис. 2.12 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці дуба

- для пилу липи

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,032 d_{\text{ч}}^{2,36}$$

- для пилу ясеня

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,006 d_{\text{ч}}^{3,24}$$

- для пилу бука

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,01162 d_{\text{ч}}^{2,76}$$

- для пилу дуба

$$D(d_{\text{ч}}) = 0,0071 d_{\text{ч}}^{2,88}$$

Отримані результати показали, що у повітря робочої зони надходять пилові частинки з розмірами менше 20 мкм. Причому 8–15 % їхньої маси припадає на частинки PM10, на частинки PM2,5 – припадає 0,1–0,3 %.

На рисунках 2.13 та 2.14 представлені дані про дисперсний склад пилу на різній висоті приміщення за різних способів подачі повітря. Очевидно, що при подачі повітря безпосередньо до робочої зони за її межі виносяться більш дрібні частки. Так, наприклад, на висоті 2,5 м медіанний діаметр частинок при подачі повітря безпосередньо у робочу зону складає 9 мкм, на висоті 4 м – 6,8 мкм (рисунок 2.13). При подачі повітря у робочу зону з висоти до 4-х м ці значення дорівнюють 10,2 мкм та 7 мкм відповідно (рисунок 2.14).

Під час проведення досліджень також було проведено порівняння дисперсного складу пилу, що надходить у повітря робочої зони при виконанні різних технологічних операцій, тобто від різних верстатів. Як приклад на рисунку 2.15 представлено порівняння дисперсного складу пилу, що виділяється від шліфувально-стрічкового та стругального верстатів. Отримані результати показують, що найдрібніший пил надходить у повітря робочої зони при обробці деревини різних порід на шліфувально-стрічкових верстатах. В цьому випадку частка частинок PM10 складає 50 %, частка частинок PM2,5 – 1,5 %.

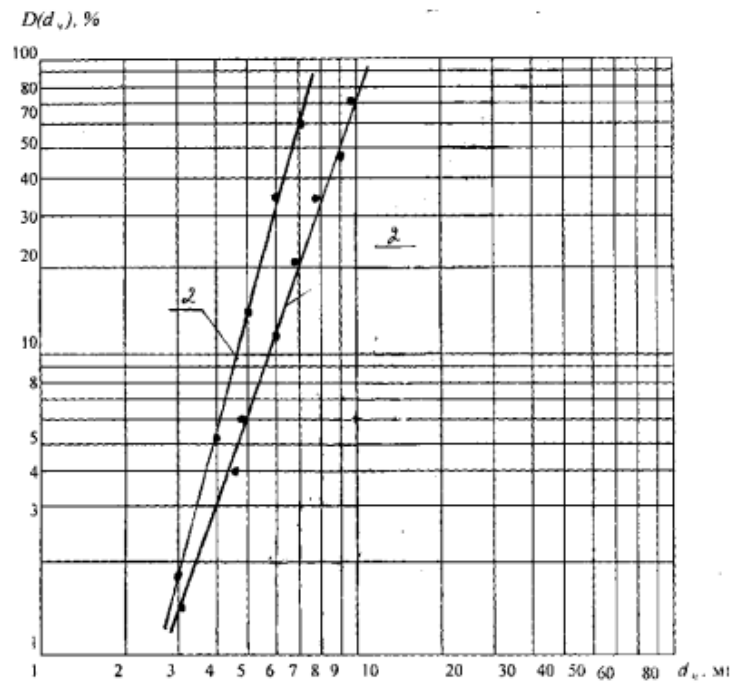


Рис. 2.13 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок пилу за діаметрами при подачі повітря безпосередньо в робочу зону:

1 – на висоті 2,5 м; 2 – на висоті 4 м.

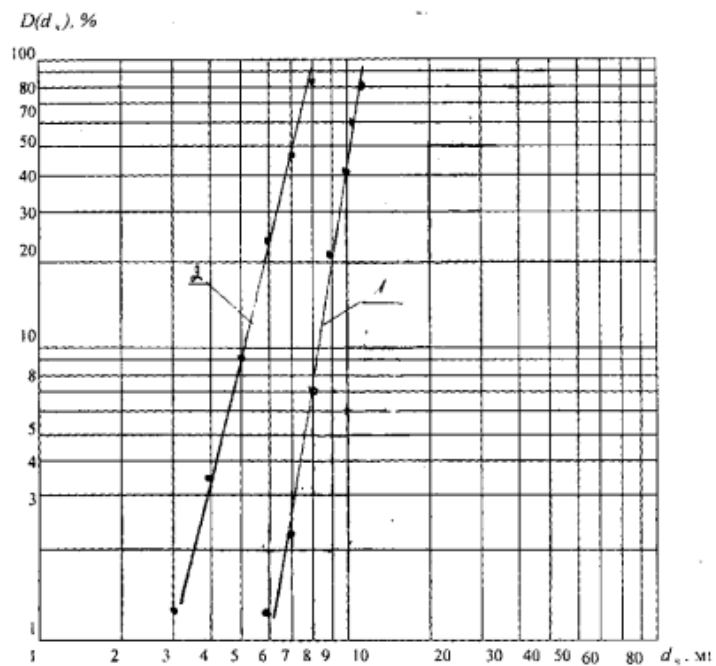


Рис. 2.14 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок пилу за діаметрами при подачі повітря в робочу зону з висоти до 4-х м:

1 – на висоті 2,5 м; 2 – на висоті 4 м.

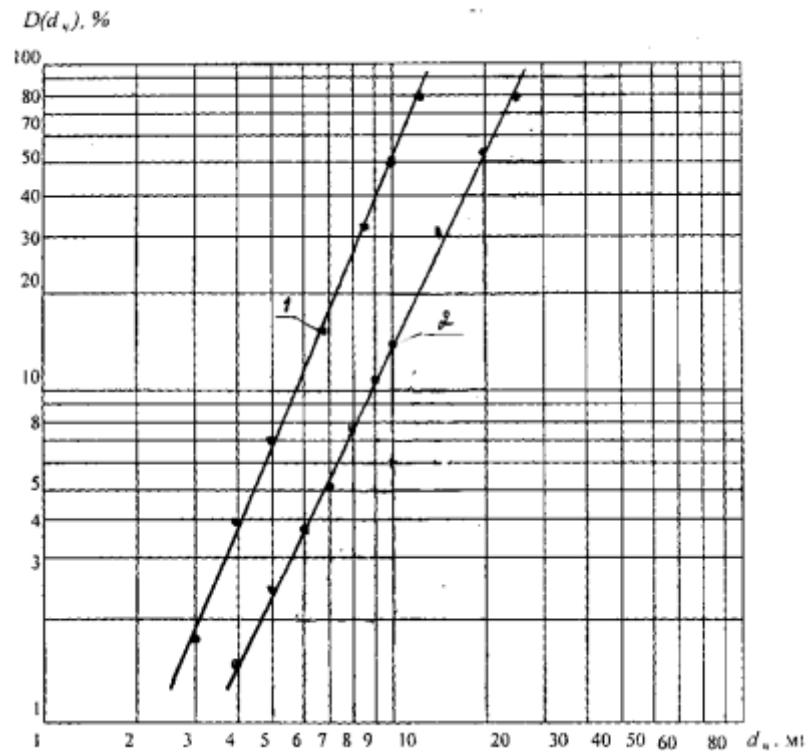


Рис. 2.15 – Інтегральні функції щільності розподілу маси частинок за діаметрами для пилу, що утворюється при обробці деревини на:  
1 - шліфувально-стрічковому верстаті; 2 – на стругальному верстаті

### 2.3 Визначення густини пилу

Густина порошкоподібних матеріалів, що переміщуються системами аспірації є найважливішим фактором, що впливає на величину об'єму повітря, необхідного для транспортування, та вибору типу пилоочисного обладнання.

Щодо густини порошкоподібні матеріали можуть бути розділені на дві групи. До першої відноситься пил з частинками однакової густини, до другої – з частинками різної густини. Останнє має місце або при змішаних видах пилу, або при різній структурі частинок в окремих фракціях. Густину пилу першої групи та тих видів пилу другої групи, для яких за цей параметр може бути прийнята середня величина густин речовин, що їх утворюють, можна визначати двома способами – пікнометричним та манометричним [33].

Як відомо, розрізняють насипну густину, істинну та уявну [33].

Насипна густина пилу є масою одиниці об'єму порошкоподібного матеріалу, насипаного вільно у ємність відомого об'єму. Для визначення насипної густини використовувався установка представлена на рисунку 2.16.

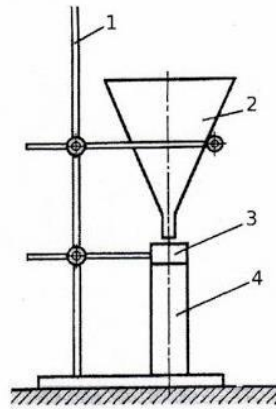


Рис. 2.16 – Установка для вимірювання насипної густини пилу:

1 – штатив, 2 – воронка, 3 – приймальне кільце, 4 – алюмінієвий циліндр

На штативі встановлений мірний циліндр з приймальним кільцем і воронка. Мірний циліндр попередньо зважувався. Після його заповнення досліджуваним пилом знімалося приймальне кільце, видалявся надлишок пилу на рівні обрізу циліндра та проводилося його повторне зважування. Розмір насипної густини визначалася за виразом

$$\rho_{\text{нас}} = (G_2 - G_1) / V, \text{ кг/м}^3 \quad (2.2)$$

де  $G_1, G_2$  – маса мірного циліндра до та після заповнення досліджуваним пилом відповідно, кг;

$V$  – об'єм мірного циліндра, м<sup>3</sup>.

Результати визначення насипної густини пилу за породами деревини наведено у таблиці 2.2.

Для визначення уявної густини пилу був використаний манометричний спосіб, заснований на законі Бойля-Маріотта [69], за допомогою експериментальної установки, схема якої показана на рисунку 2.17. Визначення об'ємної маси матеріалу провадиться наступним чином. Закривається запірний кран і за допомогою шприца подається в систему об'єм

повітря  $\Delta V_1$ . За U-подібним манометром, шкала якого проградуєрована в одиницях об'єму та тиску, знімаються показання збільшення тиску  $P_1N$  та зміни об'єму  $\Delta V$ .

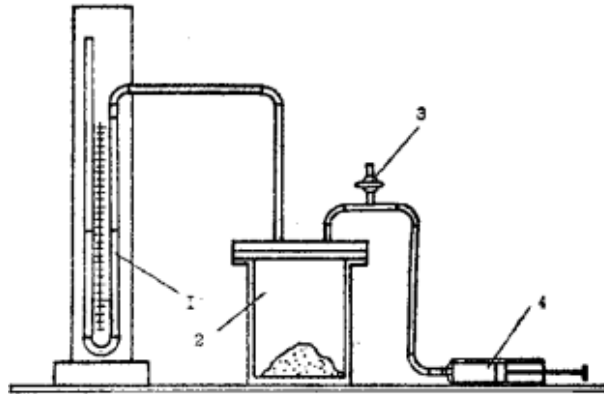


Рис. 2.17 – Схема установки для визначення уявної густини пилу методом витіснення об'єму газу:

- 1 – U-подібний манометр; 2 – посудина з герметичною кришкою;  
3 – запірний кран; 4 – шприц

Рівняння газового стану за умови ізотермічності процесу можна записати так

$$PV = P_1(V + \Delta V - \Delta V_1) \quad (2.3)$$

де  $P$  – атмосферний тиск, Па;

$V$  – початковий об'єм повітря в системі, м<sup>3</sup>;

$P_1$  – абсолютний тиск, Па.

$$P_1 = P + P_1N \quad (2.4)$$

де  $P_1N$  – надлишковий тиск повітря, що визначається за U-подібним манометром, Па.

Після засипання досліджуваного пилу в посудину та проведення аналогічних операцій з витіснення за допомогою шприца об'єму  $\Delta V_1$  вираз (2.3) набуває вигляду

$$P(V - X) = P_1(V - X + \Delta V' - \Delta V_1) \quad (2.5)$$

де  $X$  – об'єм пилу, що досліджується, м<sup>3</sup>;

$\Delta V'$  – зміна об'єму за шкалою манометра, м<sup>3</sup>.

$$P'1 = P + P'1N \quad (2.6)$$

Вирішуючи спільно рівняння (2.3) та (2.5) щодо  $X$  і виключивши початковий об'єм повітря в системі  $V$ , отримуємо

$$X = P (\Delta V1/P1N - \Delta V/P1N + \Delta V'/P'1N - \Delta V1/P'1N) + \Delta V' - \Delta V \quad (3.7)$$

Результати визначення уявної густини пилю за породами деревини наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Густина деревного пилю

Порода деревини	Густина деревного пилю, кг/м <sup>3</sup>	
	уявна	насіпна
Сосна	1340	149
Ялиця	1290	138
Липа	1400	162
Бук	1480	177
Дуб	1530	184
Ясень	1420	192

Істинна густина, тобто густина сухих частинок, що не мають внутрішніх пор, деревного пилю залежить від його дисперсного складу. Однак, із зменшенням розміру частинок знижується кількість закритих пор і густина збільшується, наближаючись до густини деревини, прийнятої в середньому 1540 кг/м<sup>3</sup> [7,8].

#### 2.4 Дослідження аеродинамічних властивостей пилю

У теоретичних дослідженнях залежності швидкості осідання пилю від діаметра та коефіцієнта форми частинок, виконаних у роботах [30, 33] деревний пил вивчений недостатньо. В роботі [36] проводиться зіставлення отриманих експериментальних та розрахункових даних щодо оцінки швидкості

витання пилу, що утворюється при обробці деревини. Однак у наведених там залежностях, що описують цю аеродинамічну характеристику пилу, не враховується форма частинок, тоді як аналіз морфологічного складу показує, що форма частинок досліджуваного пилу змінюється і від породи деревини і від розмірів частинок.

Проведення дисперсійного аналізу за допомогою методу мікроскопії дозволяє одночасно з розмірами оцінювати форму частинок [30]. Результати власних досліджень та результати узагальнення даних, наведених у роботах інших авторів [6, 36], представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати морфологічного аналізу пилу, що виділяється під час виробництва виробів з деревини

Порода деревини	Переважаюча форма частинок пилу деревини при розмірах, мкм		
	< 10	10-50	50-150
Сосна	пластинчаста, рідко близька до кулі	пластинчаста	подовжена
Ялиця	пластинчаста, рідко близька до кулі	пластинчаста	подовжена
Липа	пластинчаста, рідко близька до кулі	пластинчаста	пластинчаста
Бук	пластинчаста, рідко близька до кулі	паличкоподібна	пластинчаста
Дуб	пластинчаста, рідко близька до кулі	голкоподібна	пластинчаста
Ясень	різна	голкоподібна	голкоподібна

Частинки пилу, що утворюється при одночасному обробленні різних порід деревини, характеризуються різноманітною геометричною формою з переважанням частинок тієї форми, яка характерна для породи деревини, об'єм якої становить більшу частину в період одночасної обробки.

При пофракційному осіданні аналізована проба подрібненого матеріалу диспергується у верхній частині стовпа дисперсійного середовища [33]. Спочатку з верхнього шару цього середовища випадають фракції найважчих і великих частинок, які, пройшовши за час  $\tau$  висоту стовпа  $H$ , осідають на дні седиментаційного циліндра. За швидкістю осідання, яку визначають як  $v = H/\tau$ , можна визначити найменший діаметр частинок, які осіли на момент часу  $\tau$ , і за масою осаду визначити відсоток частинок, що мають діаметр менше  $d$ ч.

Як об'єкт дослідження взято деревний пил, що утворюється при механічній обробці деревини різних порід. Оскільки досліджуваний пил відноситься до пилу, що сильно злипається (п.п. 2.5), необхідна його ретельна підготовка до експерименту та виконання великої кількості серій ідентичних досліджень для одержання достовірних результатів. Перед виконанням експерименту пил просушувався, проби по 50 мг наносили на чистий аркуш паперу і рівномірно по ньому розподіляли. В якості приладу для визначення дисперсного складу пилу методом седиментометрії у повітряному середовищі використовувався повітряний седиментометр (рисунок 2.18).

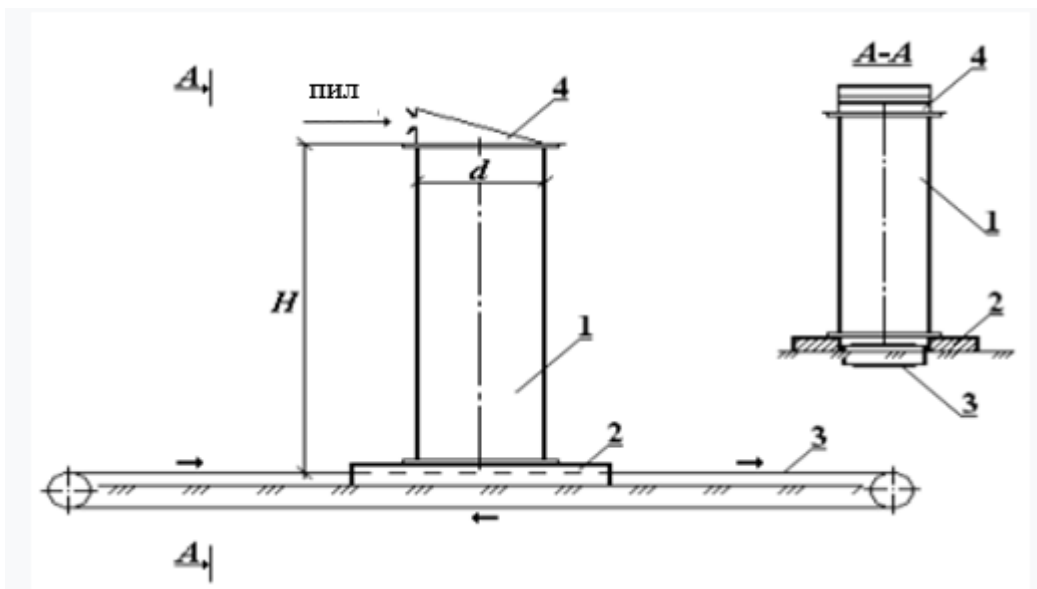
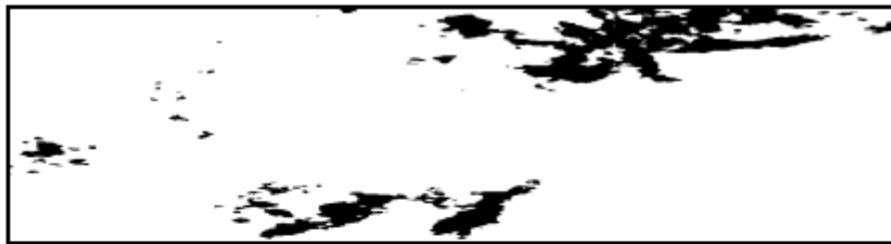


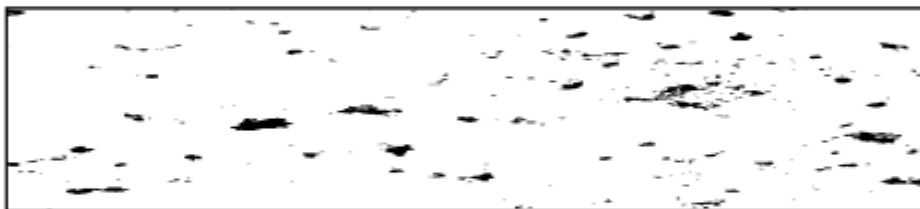
Рис. 2.18 – Установка визначення швидкості витання:

- 1 – седиментаційний циліндр з висотою 1480 мм та діаметром 175 мм;
- 2 – підставка; 3 – стрічковий транспортер; 4 – пристрій для розпилювання

Наважка досліджуваного пилю рівномірно (без грудок) укладається на лист фільтрувального паперу. Розпорошення пилю проводилось різким повітряним поштовхом у спеціальному розпилювальному пристрої, з якого хмарка пилю потрапляла у верхню частину седиментаційного циліндра, в якому під дією сили тяжіння частинки з різною швидкістю падіння в нерухомому повітрі осідали на липкий скотч, покладений на стрічковий транспортер. Стрічка транспортера ривком переміщала на величину діаметра седиментаційного циліндра за рівні проміжки часу. Для закріплення пилю на стрічці використовувався захисний шар самоклеючого паперу. Було проведено 10 серій по 10 експериментів кожний з інтервалами осідання 1 с та 2 с. Визначення дисперсного складу пилю виконувалось із застосуванням методики мікроскопічного аналізу [30, 33].



а



б



в

Рис. 2.19 – Мікрофотографії частинок пилю, що утворюється при обробці сосни, що осіли (серія б) у седиментометрі через: а – 1 с; б – 4 с; в – 10 с

Як приклад на рисунку 2.19 наведено мікрофотографії частинок пилю, що утворюється при обробці сосни, що осіли в седиментометрі через різні часові проміжки.

Математична обробка експериментальних результатів була проведена за допомогою комп'ютерної автоматизованої системи DUST [35]. За допомогою цієї програми визначався еквівалентний діаметр частинок, як середня величина для частинок з однаковою швидкістю осідання, і геометричний коефіцієнт форми  $f$  [30].

З цією метою для всіх виконаних серій експериментів частинки були розділені на 10 класів залежно від швидкості осідання в межах від 0,02 м/с до 1,48 м/с. Для кожного із класів частинок за допомогою програми визначався середній еквівалентний діаметр частинок  $d_{\text{ср}}$  та середній геометричний коефіцієнт форми  $f_{\text{ср}}$ . Для визначення останнього програмою виконувались такі операції [35]: визначалася реальна площа частки; визначався максимальний діаметр частинки; підбиралася частка, що має форму еліпса з віссю «а», що відповідає найбільшому діаметру частинки, та рівновелика частинці за площею; визначався розмір по осі «в» еліпса; геометричний коефіцієнт форми частки як відношення розміру осі «а» до розміру осі «в»; розраховувався середній геометричний коефіцієнт форми, що відповідає даному еквівалентному діаметру. На підставі отриманих результатів була побудовано залежність середнього геометричного коефіцієнта форми від еквівалентного діаметра частинок для пилю сосни (рис. 2.20).

На основі отриманих даних про величини середніх еквівалентних діаметрів  $d_{\text{ср}}$  та середніх коефіцієнтах форми  $f_{\text{ср}}$  побудовані графічні залежності, що характеризують швидкість осідання частинок пилю сосни від цих показників (рисунки 2.21 та 2.22).

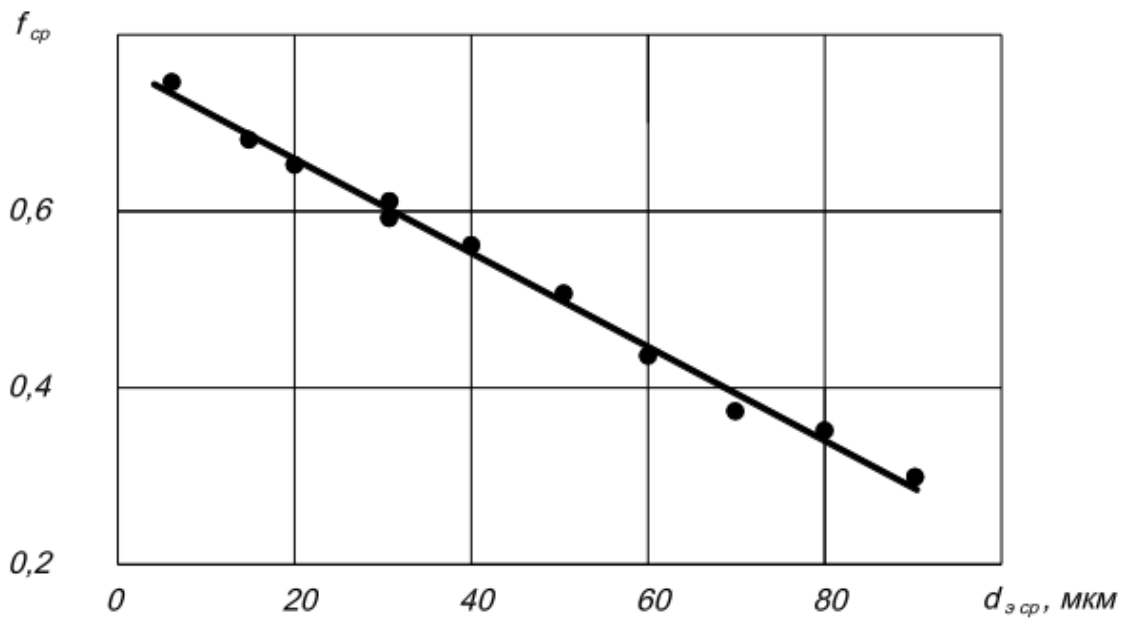


Рис. 2.20 – Залежність середнього геометричного коефіцієнта форми частинок від  $d_{э,ср}$  для частинок пилу сосни

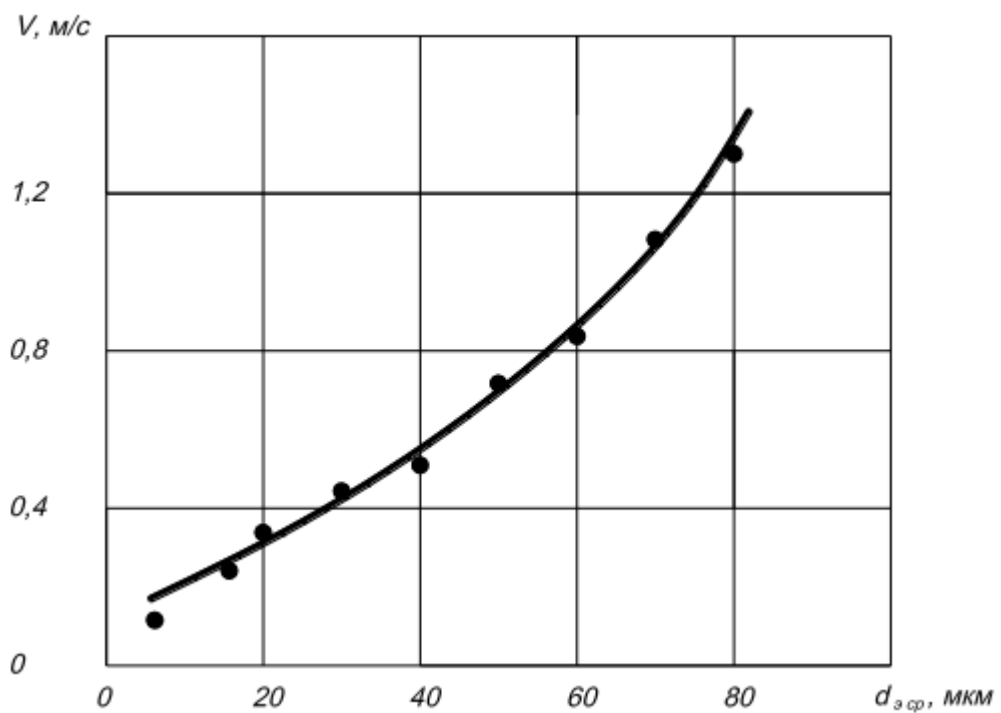


Рис. 2.21 – Залежність, що характеризує швидкість осідання частинок пилу сосни від середнього еквівалентного діаметра

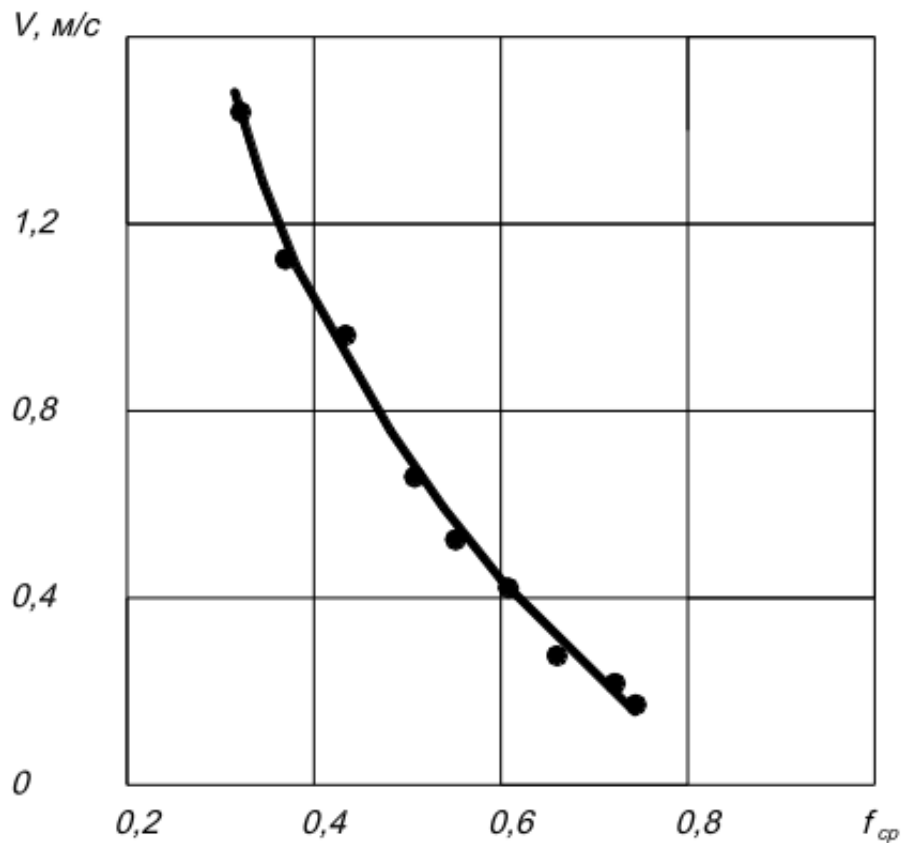


Рис. 2.22 – Зміна швидкості осідання частинок пилу сосни залежно від середнього геометричного коефіцієнта форми

За результатами математичної обробки експериментальних даних отримано, що залежність швидкості осідання частинок досліджуваного пилу від розмірів та форми апроксимується виразом виду

$$v_{oc} = \exp(a)d_{ср}^n f_{ср}^m$$

(2.8)

де  $a$ ,  $n$ ,  $m$  - постійні, що визначаються за результатами експериментальних досліджень.

Було встановлено, що швидкість осідання частинок деревного пилу практично не залежить від породи дерева.

## 2.5 Визначення злипання пилу

Дані про злипання пилу, що утворюється при виготовленні дерев'яних конструкцій, необхідні для правильного вибору об'єму та швидкості повітря для стійкого переміщення пилу по системі аспірації, а також для вибору типу пилоочисного обладнання.

Експериментальна оцінка злипання досліджуваного пилу проводилася за [38]. Ця методика передбачає порівняння між собою та віднесення до тієї чи іншої групи різного за злипанням пилу за кількісним показником – розривною міцністю пилових шарів, що спеціально формуються з цією метою. Цей показник дозволяє розділити весь пил на чотири групи злипання. До першої групи відносять пил, що не злипається, до другої – слабо злипається, до третьої – середньо злипається, до четвертої – сильно злипається. За даними [38] цим групам пилу відповідають чотири інтервали розривної міцності шару: менше 60 Па, від 60 до 300 Па, від 300 до 600 Па і більше 600 Па [38].

Для визначення злипання досліджуваного пилу було використано експериментальну установку, схема якої наведена на рисунку 2.23. На відміну від приладу Андріанова Є.І. [38] трохи інакше визначалася величина розривного зусилля  $F_{р.з}$ . Зусилля, що розриває прикладалося до верхньої частини складеного циліндра за допомогою важільних терезів (рисунок 2.23). Циліндр підвішується до одного плеча важеля ваги. При цьому нижня частина циліндра закріплена жорстко. На друге плече важеля підвішується чашка із сипучим матеріалом. При збільшенні ваги матеріалу відповідно збільшується прикладене до циліндра зусилля. Отже, величина розривного зусилля  $F_{р.з}$  визначається вагою сипучого матеріалу в момент розриву пилового шару.

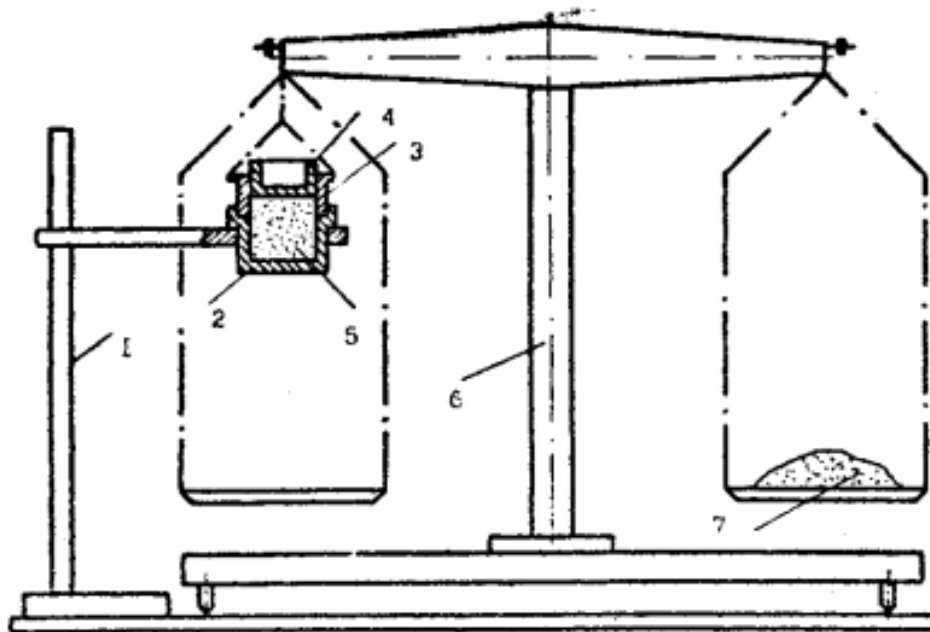


Рис. 2.23 – Схема установки для визначення злипання пилю:

1 – штатив; 2 – склянка; 3 – трубка; 4 – плунжер; 5 – досліджуваний пил;  
6 – важільні ваги; 7 – сипкий матеріал

Міцність шару  $P$  визначається з виразу

$$P = F_{p.z.} - G_k / S, \text{ Па} \quad (2.9)$$

де  $G_k$  – вага трубки з плунжером і пилом, що утримується силами адгезії та тертя об стінки, Н;

$S$  - площа поперечного перерізу шару, що дорівнює  $0,0002 \text{ м}^2$ .

Результати проведених експериментальних досліджень показали, що розривна міцність пилових шарів для пилю, що утворюється при обробці різних деревних порід складають: для сосни – 684 Па; для ялиці – 679 Па; для липи – 681 Па; для буку – 688 Па; для дуба – 673 Па; для ясеня – 665 Па.

Таким чином, отримані результати показують, що незалежно від породи деревини, пил, що утворюється при механічній обробці, належить до IV групи, тобто є таким, що сильно злипається.

## 2.6 Диспергування пилу

Диспергування пилу, тобто здатність до розпилювання – одна з властивостей пилу, що характеризує здатність порошкоподібного продукту переходити у зважений стан, а також схильність продукту до аерування [33].

Залежно від величини розпилювання пил поділяються на три групи: більше 70 % – сильно розпорошується; 50–70 % – середньо розпилюються; 30–50 % – слабо розпорошується [33].

Для визначення диспергованості пилу, що утворюється при механічній обробці деревини різних порід, використовувалася методика [33]. Відповідно до цієї методики дослідження проводилися наступним чином. Відома маса пилу через лійку порціями направляється в струмінь повітря, що розпорошує матеріал. Швидкість повітряного потоку при визначенні розпорошувальної здатності пилу рекомендується приймати 2 м/с. При цьому частина пилу осідає на кристалізаторі, що встановлюється під струменем повітря та центр якого знаходиться на відстані 300 мм від центру воронки [33].

Розпилювання визначається за виразом

$$\Pi = G_1 - G_2/G_1, \% \quad (2.10)$$

де  $G_1$ ,  $G_2$  – маса засипаного пилу та пилу, що осів на кристалізатор, г.

Результати оцінки диспергованості досліджуваного пилу наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розпорошуюча здатність пилу, що утворюється при механічній обробці деревини

Порода деревини	Диспергованість $\Pi$ , %	Група
Сосна	62	середньо розпорошуються
Ялиця	60	
Липа	57	
Бук	52	
Дуб	54	
Ясень	55	

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень встановлено, що пила, що утворюється при механічній обробці деревини різних порід, за існуючою класифікацією відноситься до групи пилу, що середньо розпилюється.

## 2.7 Визначення комплексних реологічних властивостей пилу

Комплексні реологічні властивості пилу: аркоутворення, аерироємність та сипкість.

Під аркоутворенням розуміється здатність пилу утворювати стійкі склепінні структури, що обумовлює зависання порошкоподібного матеріалу над випускним отвором [33]. Міцність склепінних структур визначається фізико-хімічними характеристиками сипучого продукту, конструкцією пилоочисного апарату чи бункера тощо. При визначенні схильності пилу до аркоутворення як основні показники застосовуються: диспергованість та клас сипучості. Результати експериментальної оцінки аркоутворення для пилу, що утворюється при обробці різних деревних порід наведено у таблиці 2.5.

Сипучість характеризує здатність матеріалу утворювати безперервний дискретно стійкий потік. За величиною сипучості порошкоподібні матеріали розподілено на сім класів [33]. Для оцінки сипучості як основний показник рекомендується застосовувати динамічний кут природного укусу. Результати оцінки сипучості для пилу, що утворюється при механічній обробці різних порід деревини представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Комплексні характеристики пилу, що утворюється при механічній обробці деревини

Порода деревини	Класи		
	аркоутворення	сипучості	аерироємність
Сосна	слабке - 2	добра - 3	висока - 4
Ялиця	слабке – 2	добра – 3	висока – 4
Липа	слабке – 2	добра – 3	висока – 4

Бук	слабке – 2	добра – 3	висока – 4
Дуб	слабке – 2	добра – 3	висока – 4
Ясень	слабке - 2	добра - 3	висока - 4

Схильність матеріалу до утворення псевдозрідженої системи з лавиноподібним нестійким течінням характеризується аерироємністю [39]. За цим показником порошкоподібні продукти поділяються на п'ять класів. При цьому враховуються розпилювання та сипучість пилу [39]. Дані щодо оцінки аерироємності пилу, що утворюється при виробництві дерев'яних конструкцій та виробів, наведені у таблиці 2.5.

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень встановлено, що пил, що утворюється при механічній обробці деревини, за існуючою класифікацією характеризується гарною сипучістю, слабким аркоутворенням та великою аерироємністю.

## **2.8 Висновки до другого розділу**

1. Досліджено та узагальнено дані про дисперсний склад пилу, що утворюється при виробництві конструкцій та виробів з деревини різних порід.

2. За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що на виробництві в повітря робочої зони надходять пилові частинки із розмірами менше 20 мкм. Причому 8–15 % їхньої маси припадає на частку частинок PM10, на частку частинок PM2,5 – 0,1–0,3 %.

3. Під час дослідження процесів поширення пилу за висотою приміщення було виявлено, що при подачі повітря безпосередньо в робочу зону за її межі виносяться дрібніші частинки ніж при подачі повітря у робочу зону з висоти до 4-х м.

4. При зіставленні дисперсного складу пилу, що надходить у повітря робочої зони при виконанні різних технологічних операцій, встановлено, що найбільш дрібний пил надходить у повітря робочої зони при обробці деревини різних порід на шліфувально-стрічкових верстатах.

5. На основі результатів експериментальних досліджень отримано залежності для оцінки швидкості осідання пилових частинок, що утворюються при виробництві дерев'яних виробів з урахуванням розмірів та форми частинок.

6. Досліджено та узагальнено основні властивості пилу, необхідні для вирішення питань щодо зниження запиленості повітряного середовища підприємства. Встановлено, що досліджуваний пил відноситься до пилу, що середньо розпорошується і характеризується гарною сипучістю, слабким аркоутворенням і великою аерироємністю.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЗАПАЛИНОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

#### 3.1 Рішення щодо забезпечення надійності систем аспірації

Як зазначалося вище, підвищена запиленість повітря у робочій зоні підприємств з виробництва будівельних конструкцій та виробів багато в чому обумовлена незадовільною та нестійкою роботою аспіраційних систем.

Особливістю розгалужених систем аспірації є наявність горизонтальних ділянок повітроводів, обумовлене необхідністю об'єднання технологічного обладнання, розташованого на суттєвій відстані одне від одного, а також розташуванням пиловловлюючого обладнання поза виробничим приміщенням відповідно до вимог пожежної безпеки [40]. Однак у колекторних системах також зустрічаються горизонтальні повітроводи, призначені для підключення окремих місцевих відсмоктувачів до спільної мережі. Довжина таких ділянок деяких типів верстатів сягає 2,5 м.

Оскільки на деревообробних підприємствах виробничий процес ведеться у дві зміни, у нічний час відбувається відключення верстатів, і, відповідно, аспіраційних установок. Тому з плином часу відбувається утворення пилових відкладень у повітроводах, що призводить до зменшення об'ємів повітря, що відсмоктується від аспірованого обладнання та до вибивання пилу у повітря робочої зони. Другим фактором є зміна об'єму пилоповітряної суміші, що переміщується по системі аспірації, внаслідок зміни технологічного навантаження або періодичного відключення устаткування, що аспірується. В цьому випадку зниження об'єму пилоповітряної суміші веде до зниження транспортної здатності повітря, що також викликає відкладення пилу у повітроводах.

Крім того, за результатами досліджень властивостей деревного пилу встановлено, що він належить до групи, що сильно злипається. З іншої сторони,

внаслідок зносу ріжучого та шліфувального інструменту в повітроводи потрапляють абразивні частинки, що істотно відрізняються за своїми властивостями від частинок деревного пилу. Частинки абразивного матеріалу характеризуються більш несприятливими умовами стійкого транспортування порівняно з деревними. З цієї причини також спостерігається відкладення великих частинок на горизонтальні поверхні повітропроводів систем аспірації деревообробного виробництва, які запроектовані, виходячи з властивостей пилу.

Разом з тим, способи очищення повітроводів, які застосовуються в даний час для запобігання відмови системи аспірації можуть використовуватися для видалення пилових відкладень, що вже утворилися, і тільки при відключення системи аспірації.

Одним із можливих вирішень проблеми забезпечення безвідмовної роботи аспіраційних установок є застосування закручених потоків, які характеризуються підвищеною здатністю приводити в рух і переносити пилові частинки. Це дозволяє покращити умови переміщення пилоподібних матеріалів та запобігати утворенню пилових відкладень у повітроводах безпосередньо в процесі роботи системи [41]. Для організації закрутки потоку на горизонтальних ділянках повітроводів замість стандартних відводів, що встановлюються на місці переходу вертикальних ділянок у горизонтальні, рекомендується застосування тангенціальних відводів-закручувачів (рисунки 3.1) [41]. Використання такого пристрою дозволяє здійснювати тангенціальне введення потоку в циліндричний повітропровід. Коли система аспірації працює в основному режимі, байпасний патрубок герметично закритий за допомогою заслінки, а заслінка аксіального патрубку відкрита. Для створення закрутки газового потоку при проході через тангенційне відведення-закручувач заслінку тангенціального патрубку відкривають, а заслінку аксіального патрубку закривають.

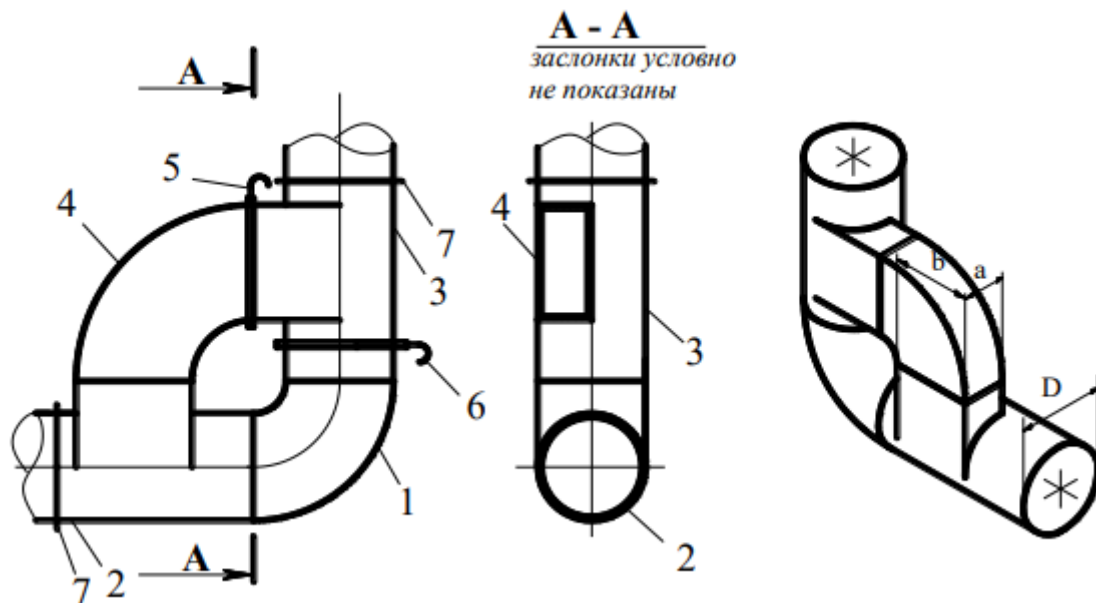


Рис. 3.1 – Тангенційне відведення-закручувач [41].

- 1 – відвід; 2 – вихідний аксіальний патрубок; 3 – вхідний аксіальний патрубок;  
 4 – тангенційний патрубок; 5 – заслінка в тангенціальному патрубку;  
 6 – заслінка в аксіальному патрубку; 7 – сполучні фланці

Для характеристики інтенсивності закрутки потоку після тангенціального відводу-закручувача використовується інтегральний параметр  $\Phi^*$ , значення якого становить [22]

$$\Phi^* = \pi/4 \cdot D(D - a) / ab \cdot \sin \alpha \quad (4.1)$$

де  $d$  - діаметр циліндричної частини, мм;

$a$  - ширина перерізу тангенціального введення, мм;

$b$  - висота тангенціального введення, мм;

$\alpha$  - кут між осями тангенціального введення та циліндричного каналу, град.

Дослідження щодо забезпечення безвідмовної роботи систем аспірації у виробництві дерев'яних конструкцій та виробів за допомогою організації закрутки потоку проведені в промислових умовах. Як дослідна установка використана діюча система аспірації, яка призначена для видалення та очищення пилу, що виділяється під час роботи стругального та фрезерного

верстатів. Сумарний об'єм повітря, що видаляється системою становить  $L = 2640 \text{ м}^3/\text{год}$ . Схема системи наведена на рисунку 3.2.

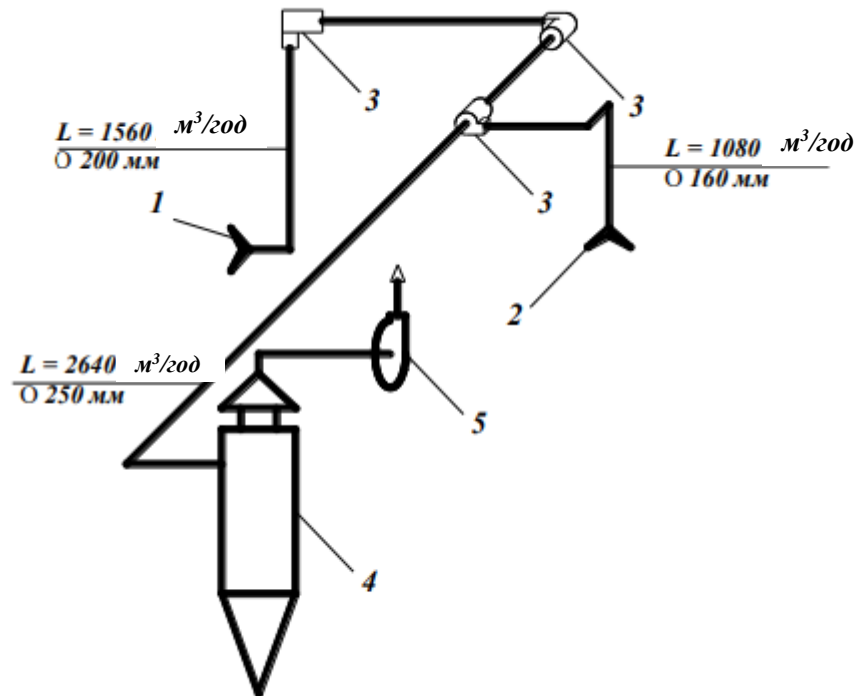


Рис. 3.2 – Схема аспірації В-1:

- 1 – місцевий відсмоктувач від стругального верстата; 2 – місцевий відсмоктувач від фрезерного верстата; 3 – тангенційний відвід-закручувач; 4 – циклон Ц-400;  
5 – вентилятор

При реконструкції системи стандартні відводи у місцях переходу вертикальних ділянок у горизонтальні замінені тангенціальними відводами-закручувачами.

На рисунку 3.3 наведено залежності, що характеризують зміну протягом часу сумарного об'єму пилогазової суміші, що відводиться від технологічного обладнання цеху, до та після встановлення відводів закручувачів.

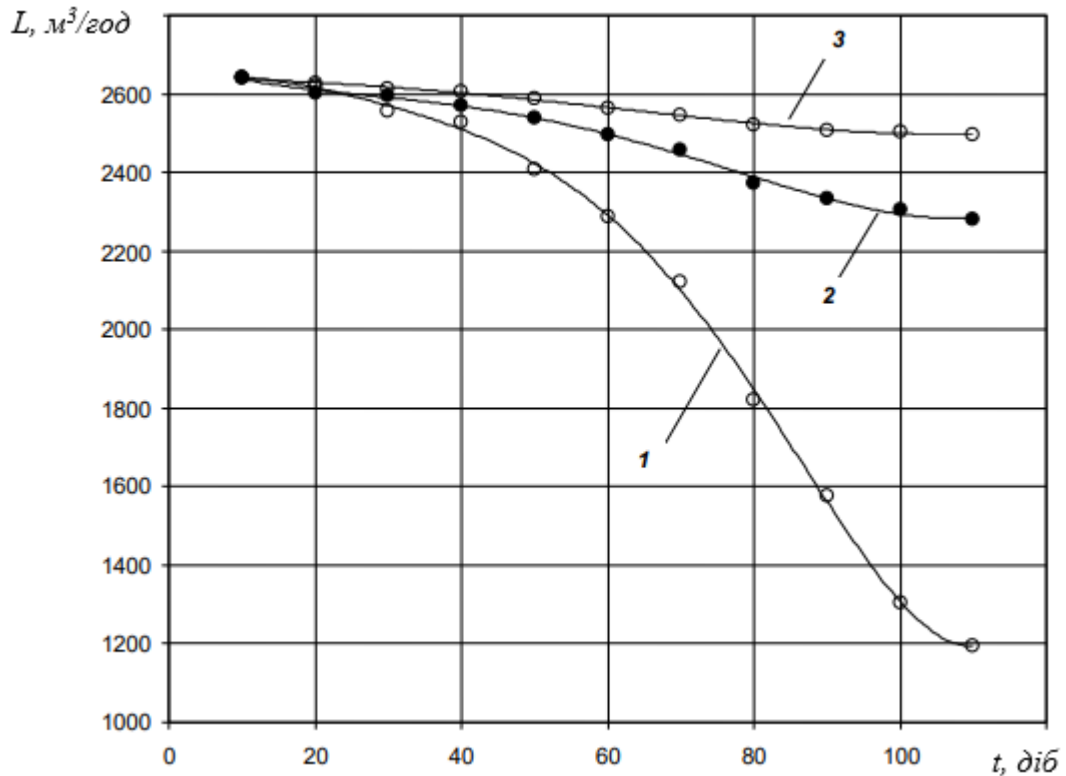


Рис. 3.3 – Зміна витрати пилоповітряної суміші, що відводиться від обладнання цеху, залежно від тривалості проміжку між очищеннями мережі повітроводів аспіраційної системи.

1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра

$\Phi^*=0,8$  та  $\Phi^*=1,1$  відповідно

Отримані дані свідчать про те, що через 40 діб роботи системи аспірації зі стандартними відводами зниження об'єму повітря, що переміщується системою, становить 5,3 %, через 60 діб – 13 %, через 80 та 100 діб – вже 30 % та 51 % відповідно. При цьому відповідно відбувається підвищення запиленості повітря на робочих місцях верстатників (рисунок 3.4).

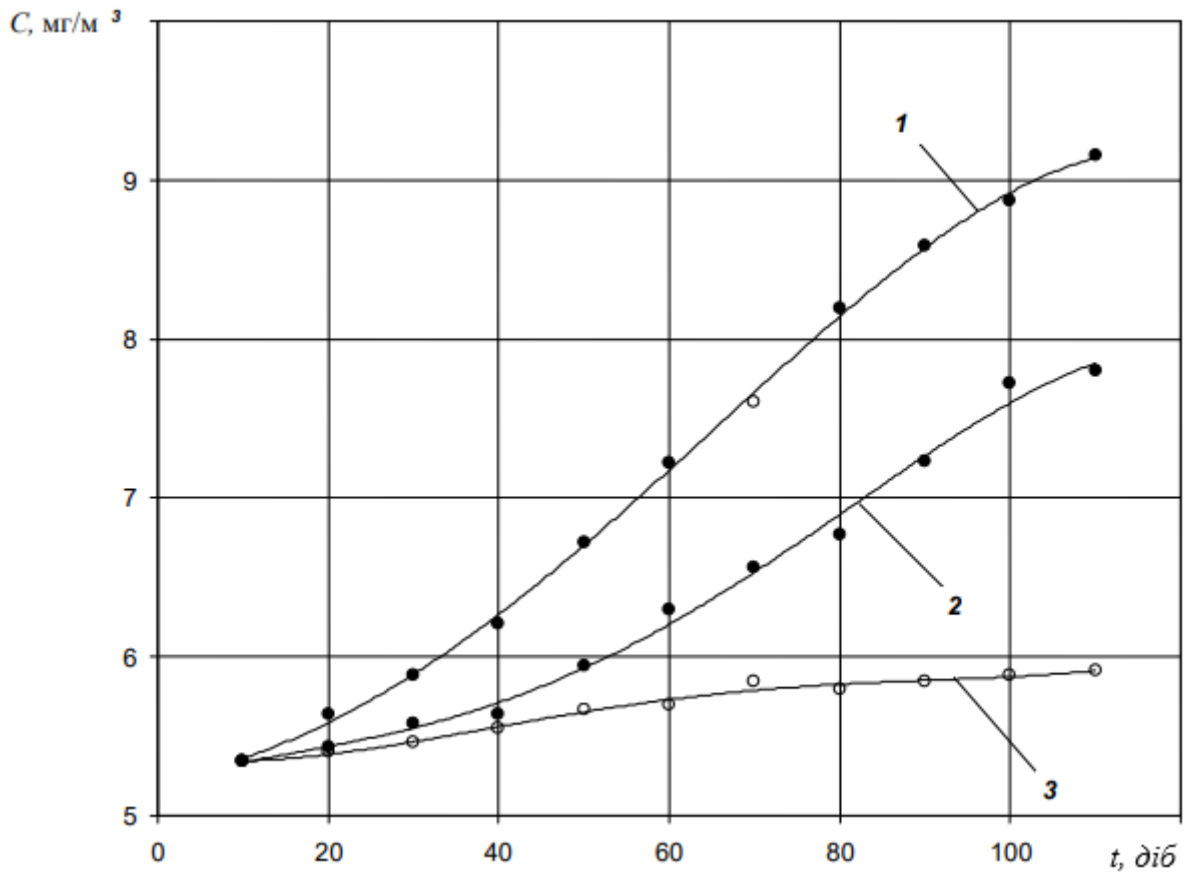


Рис. 3.4 – Зміна концентрації пилу на робочих місцях верстатників залежно від тривалості проміжку між очищеннями мережі повітроводів аспіраційної системи:

- 1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра  $\Phi^*=0,8$  та  $\Phi^*=1,1$  відповідно

Концентрація пилу, що відповідає номінальному об'єму відсмоктуваного від верстатів повітря становить  $5,3 \text{ мг/м}^3$ . За період роботи рівний 40 діб, ця величина збільшується до  $6,3 \text{ мг/м}^3$ , тобто перевищує ГДКрз (рисунок 3.5). Далі за відсутності періодичного очищення повітроводів значення концентрації пилу в повітрі робочої зони продовжує збільшуватись, і за період 100 робочих днів досягає значень  $8,8 \text{ мг/м}^3$ , що майже у півтора рази перевищує норматив ГДКрз (рисунок 3.5). При встановленні тангенційних відводів-закручувачів з

параметром інтенсивності закрутки потоку  $\Phi^*=0,8$  відбувається зниження темпу утворення пилових відкладень, про що свідчить більш плавна форма кривої 2 рисунку 3.3. У цьому випадку зниження об'єму переміщуваного по системі аспірації повітря становить: через 40 діб – 2 %, через 60 діб – 5,3 %, через 80 та 100 діб – 9,1 % та 16,7 % відповідно, тобто утворення пилових відкладень відбувається із меншою інтенсивністю.

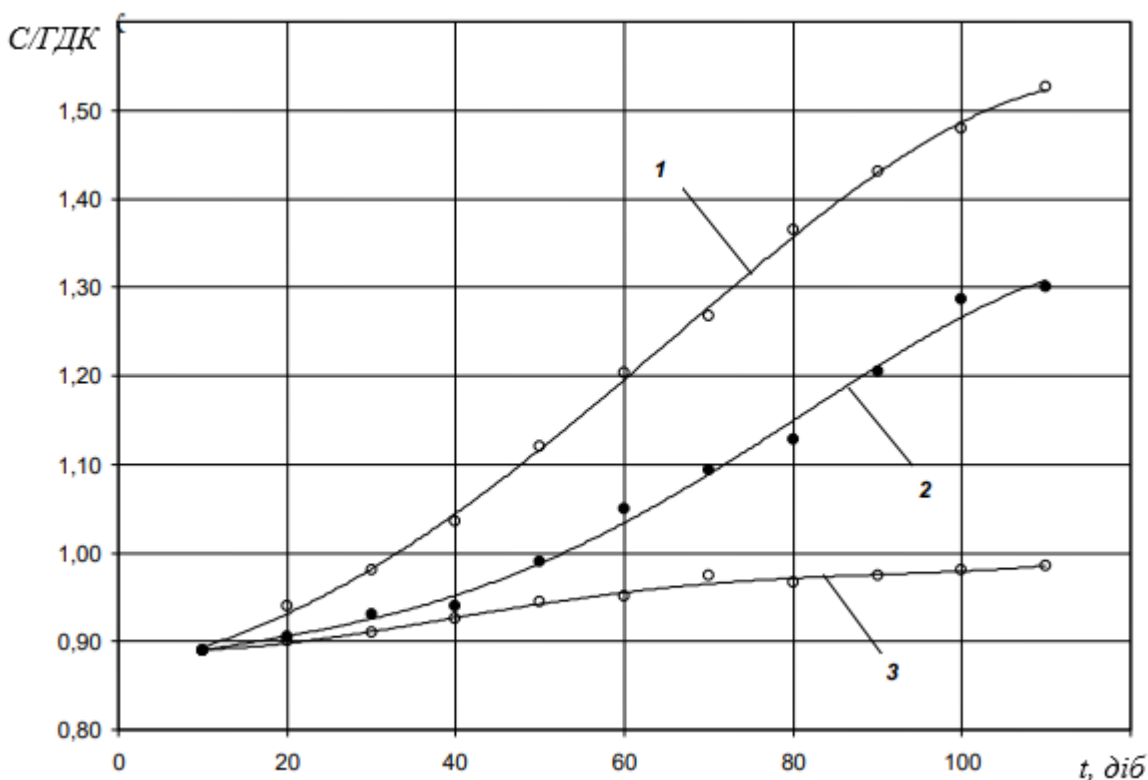


Рис. 3.5 – Зміна відносної концентрації пилу у повітрі робочої зони залежно від тривалості проміжку між очищення мережі повітроводів аспіраційної системи:

1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра

$\Phi^*=0,8$  та  $\Phi^*=1,1$  відповідно

Відповідно після 100 робочих днів концентрація пилових частинок у повітрі робочої зони становить  $7,7 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає  $1,28 \text{ ГДКрз}$  (рисунок 3.4, рисунок 3.5). Підвищення інтенсивності закрутки потоку до значення  $\Phi^* = 1,1$  дозволяє підтримувати близьку до номінальної продуктивність системи протягом усього періоду спостережень, про що свідчать дані наведені на рисунку 3.3. При цьому знижуючись через 80 діб до значення  $2450 \text{ м}^3/\text{год}$ ,

тобто всього на 7 %, витрата практично перестає зменшуватися, що дозволяє зробити висновок про достатню транспортабельну здатність потоку, що забезпечує надійне функціонування системи аспірації. Концентрація пилових частинок у повітрі робочої зони при цьому складає  $5,8 \text{ мг/м}^3$  що відповідає значенню  $0,98 \text{ ГДК}_{\text{рз}}$ .

### **3.2 Висновки до третього розділу**

1. Експериментально у дослідно-промислових умовах доведено доцільність застосування відводів-закручувачів для забезпечення надійності систем аспірації, призначених для знепилювання повітря робочої зони при виробництві дерев'яних конструкцій та виробів.

2. Експериментально встановлено величину параметра інтенсивності закрутки потоку, при якій практично забезпечується незмінність об'ємів повітря, що відсмоктується від аспірованого устаткування.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Вимоги безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень

*Вимоги до приміщення та його утримання.* Відповідно до СНіП 11-90-81 хімічні лабораторії відносяться до категорії В – пожежонебезпечне виробництво. Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення хімічних лабораторій відносяться до класу В-16, так як роботи навіть з горючими і вибухонебезпечними речовинами ведуть у витяжних шафах або під витяжними зонтами, без застосування відкритого вогню і відкритих нагрівальних приладів. Хімічні лабораторії необхідно розташовувати в окремих будівлях, у спеціальних прибудовах до виробничої будівлі або на верхніх поверхах виробничої будівлі, ізольовано від інших приміщень. Ступінь вогнестійкості будівель повинна бути не нижче третьої. Стіни і стелі хімічної лабораторії забарвлюють фарбами, які запобігають адсорбції отруйних речовин і дозволяють проводити їх чистку, миття або дегазацію. Підлоги і поверхні робочих столів рекомендується виконувати з негорючих або важкогорючих антикорозійних матеріалів. До робочих столів повинні бути підведені холодна й гаряча вода, газ, постійний і змінний струм, стиснене повітря. У кожній хімічної лабораторії повинна бути передбачена можливість відключення подачі газу, води та електроенергії. Крани та рубильники закритого типу встановлюють поза робочих приміщень у легко доступних місцях. Всі приміщення хімічної лабораторії повинні бути обов'язково обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією, витяжними шафами, а при необхідності – місцевими відсмоктувачами від робочих стендів. У кожній лабораторії є перелік речовин, роботу з якими обов'язково виконують у витяжних шафах. При роботі з кислотами і лугами приміщення повинні бути обладнані спеціальними гідрантами (кранами, фонтанчиками, шлангами) для тривалого промивання струменем води уражених ділянок шкіри або очей.

### *Вимоги безпеки при проведенні науково-дослідних робіт.*

Номенклатура дослідних робіт досить велика, вимоги безпеки для них специфічні, тому в якості прикладів розглянуто лише найпоширеніші з них. При роботі з скляним посудом і приладами зі скла для захисту рук від порізів при різанні, руйнуванні скла необхідно користуватися рушником, при механічній і термічній обробці виробів зі скла – захисними окулярами або запобіжними захисними щитками. Не можна нагрівати тонкостінні хімічні колби і стакани на відкритому вогні без спеціальних сіток, які виконані з азбесту. Якщо роботу в апаратурі зі скла виконують при підвищених тиску й температурі або при вакуумі, що створює небезпеку розриву скла, то установка повинна бути огорожена захисним екраном з органічного скла, металевим кожухом, а окремі, особливо небезпечні, апарати повинні бути захищені металевою сіткою, що запобігає розкиду уламків скла. Ємності з речовинами, що викликають хімічні опіки, наприклад, з кислотами і лугами, потрібно переносити удвох у спеціальних кошиках або на візках. Тверді луги слід брати тільки лабораторними щипцями або руками у гумових перчатках; при дробленні великих шматків використовувати щільну матерію (бельтинг). Роботу слід виконувати із застосуванням індивідуальних засобів захисту. Розлив і розфасовку їдких рідин необхідно робити за допомогою гумових груш, шприца або спеціальних сифонів. Не можна засмоктувати ці рідини в піпетки ротом, так як це може призвести до опіків порожнини рота і отруєнь. Концентровані кислоти та луги, а також сильнодіючі речовини (реактиви), що димлять зберігати і переливати можна тільки під тягою у витяжній шафі. Особливої обережності необхідно дотримуватися при розведенні сірчаної кислоти. Щоб уникнути розбризкування кислоти слід лити кислоту у воду, а не навпаки.

При ураженні їдкими речовинами слід швидко змити залишки цих речовин струменем води під тиском із спеціальних гідрантів або фонтанчиків, а потім звернутися до лікаря.

Горючі та легкозаймісті рідини повинні знаходитись у товстостінних скляних банках або ємностях з притертими пробками, що нагвинчуються. Такі ємності необхідно зберігати у металевих ящиках (шафах), які викладені всередині азбестом, а на дні мають насипаний шар піску. Загальний запас горючих та легкозаймістих рідин в лабораторіях не повинен перевищувати добову потребу.

При роботі з цими речовинами необхідно користуватися витяжною шафою механічної вентиляції, забороняється застосовувати будь-які джерела відкритого вогню. Відпрацьовані горючі рідини і продукти реакції збирають у спеціально призначену для цієї мети герметично закрити тару, а потім регенерують або знищують. Зливати легкозаймісті і горючі рідини в каналізацію забороняється.

Порядок придбання, відпуску, зберігання, обліку, транспортування і застосування сильнодіючих отруйних речовин (СДОР) регламентовано спеціальними правилами. При роботі з СДОР необхідно дотримуватися особливої обережності. Зберігати їх треба окремо від усіх реактивів у спеціальних опломбованих ящиках або сейфах, на всіх посудинах з СДОР повинні бути етикетки з написом «Отрута» і назва речовини. У приміщеннях, де проводяться роботи з СДОР, систематично контролюють повітряне середовище. Після закінчення роботи залишки отруйних розчинів, продуктів дегазації та інші залишки збирають в окрему тару; забруднений посуд, прилади ретельно знешкоджують, а спецодяг і рукавички дегазують. СДОР знищують за наказом керівника лабораторії, який призначає відповідального за забезпечення заходів безпеки; одночасно знищують тару і засоби транспортування.

Всі роботи з ртуттю повинні проводитися в спеціальних приміщеннях, обладнаних загальною припливної та місцевою витяжною вентиляцією. Оздоблення приміщення повинно перешкоджати проникненню ртуті у разі її розливу; підлога повинна бути гладкою, причому краї покриття підлоги біля стін треба загинати, щоб запобігти попаданню ртуті в щілини підлоги. Стіни лабораторії бажано фарбувати олійною або нітроемалевою фарбою.

Ртуть необхідно зберігати у герметично закритому товстостінному скляному або порцеляновому посуді. Випадково пролиту ртуть треба ретельно зібрати, потім поверхню, де знаходилася пролита ртуть, дегазувати розчином перманганату калію або хлористого заліза. Велике значення при роботі з ртуттю мають заходи особистої профілактики та застосування засобів індивідуального захисту.

#### **4.2 Основні заходи пожежної профілактики в науково-дослідних лабораторіях**

У звичайних умовах горіння являє собою процес окислення або з'єднання горючої речовини з киснем повітря, що супроводжується виділенням тепла і світла. Однак деякі речовини, наприклад, стиснений ацетилен, озон, вибухові речовини, можуть вибухати і без кисню повітря з утворенням тепла та полум'я, тобто горіння може бути не тільки реакцією окислення, але і розкладання. Відомо також, що водень й деякі метали можуть горіти в атмосфері хлору, мідь – у парах сірки, магній – в двоокисі вуглецю.

Також пожежонебезпечними є горючі речовини в пилоподібному стані. Осілий на обладнанні або виступаючих частинах конструкцій будівель пил може тліти й горіти. Зважений пил (аерозоль) здатний утворювати вибухонебезпечну суміш. Будьякий пил адсорбує гази, і, в тому числі, складові повітря. З часом в шарі повітря, адсорбованому порошинами, підвищується вміст кисню, що полегшує процес окислення і займання пилу. Швидкість реакції горіння зростає із збільшенням питомої поверхні пилу. Тому при визначенні ступеня небезпеки пилу, що знаходиться у виробничому приміщенні, в першу чергу, необхідно враховувати здатність пилу утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, а також чутливість таких сумішей до різних джерел займання. Нижні концентраційні межі запалення пилоповітряних сумішей на хімічних підприємствах коливаються для більшості речовин від  $2,5 \text{ г/м}^3$  до  $30 \text{ г/м}^3$ . Високі концентрації пилу можуть спостерігатися тільки всередині хімічних апаратів або в дуже сильно запиленому приміщенні. Для

запобігання вибуху пилоповітряних сумішей або зменшення руйнуючої дії такого вибуху на апаратах (бункерах, млинах, сепараторах) встановлюються розривні мембрани, а також пристрої для подачі в пилепроводи інертних газів (двоокису вуглецю або водяної пари) [14, 42].

Тверді речовини, особливо вугілля, здатні на своїй поверхні адсорбувати повітря. У пористу речовину при сильно розвинутій поверхні в адсорбованому шарі повітря, збагаченого киснем, швидкість окислювальної реакції сильно зростає. Якщо тепловіддача в навколишнє середовище порівняно мала, то в цій речовині різко підвищується температура, і окислювальний процес сильно прискорюється.

Самозайманням називається явище різкого збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що призводять до виникнення горіння речовини при відсутності джерел запалювання. Чим нижче температура, при якій починається процес самозаймання, тим речовина більш небезпечна. Такі процеси можуть починатися вже при температурах 10-20 °С. Речовини, схильні до самозаймання, діляться на 4 групи: I – речовини рослинного походження (часто це недосушені продукти рослинництва (сіно, солома), в яких при температурі 60-70°C відбуваються біологічні процеси, що переходять в хімічні процеси окислення, які закінчуються самозаймання); II – торф і копалини вугілля; III – мастила і жири (найбільш небезпечне лляна олія. Особливу небезпеку представляють тканини (спецодяг), обтиральні матеріали, на які потрапили рослинні олії. Через великі поверхні волокон тканини, на якій тонким шаром розподілено мастило, різко прискорюється реакція окислення, що супроводжується виділенням тепла. Через малу теплопровідність тканин процес нагрівання починається вже при 10–15 °С і через 3–4 години може закінчитися самозаймання.); IV – хімічні речовини і суміші, які, в свою чергу, діляться на 3 підгрупи: а) речовини, займисті при зіткненні з повітрям (білий фосфор, цинкова і алюмінієва пудра, деревне вугілля); б) речовини, займисті при зіткненні з водою (лужні метали, карбід кальцію та ін., при їх взаємодії з водою утворюються горючі гази, самозаймисті за рахунок теплоти реакції);

в) окислювачі, що викликають запалення при змішуванні з ними органічних речовин (кисень, азотна кислота, марганцево-кислий калій, селітра, хлорне вапно).

## РОЗДІЛ 5 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Під час воєнного стану основним завданням є збереження життя людей. Оскільки в лабораторіях працюють та навчаються студенти то існує ймовірність повітряної небезпеки та інших загроз зі сторони загарбника. Рішення задач з проведенню розрахунково-планувальних робіт для колективної захисної споруди є досить актуальним.

**Розрахунок об'ємно-планувальних робіт для колективної захисної споруди.**

**Вихідні данні:** Провести розрахунок об'ємно-планувальних робіт для сховища на 800 чол. з урахуванням захисту від нейтронної зброї.

Де  $h$  – висота сховища для розташування нар в два (три,) яруси, м;

$h_0$  – перевищення обвалування над рівнем землі – 60 см;

$h_3$  – прийнята захисна товща ґрунту – 150 см;

РГР – рівень ґрунтових вод – 3,0 м.

**1. Визначаємо кількість нар.** За умовою завдання нари розташовуються у два яруси:  $800 : 2 = 400$ . Отже для розташування 800 чол. необхідно 400 двохярусних нар.

Нари згідно завдання розташовуються по дві сторони сховища тоді  $400 : 2 = 200$  нар з кожної сторони.

**2. Визначаємо кількість проходів** між нарами  $200 : 2 = 100$  проходів.

**3. Накреслимо схему розташування нар.**

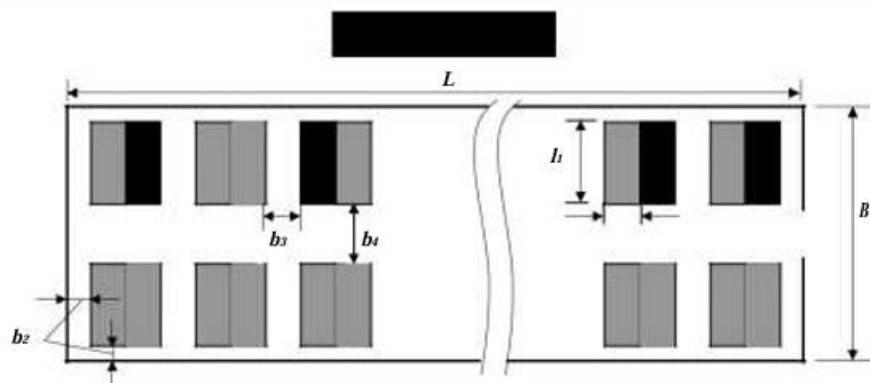


Рис. 5.1 – Схема розташування нар в основному приміщенні

#### 4. Визначимо довжину і ширину основного приміщення.

$$L = (n_1 \cdot b_1) + (n_2 \cdot b_2) + (n_3 \cdot b_3); \text{ м} \quad (5.1)$$

де  $L$  – довжина основного приміщення, м;

$n_1$  – кількість нар;

$n_2$  – кількість проходів між стінкою і нарами;

$n_3$  – кількість проходів між нарами;

$b_1$  – ширина нар, м;

$b_2$  – відстань між стінками приміщення і нарами, м;

$b_3$  – ширина проходів між нарами, м;

$$L = (200 \cdot 0,55) + (2 \cdot 0,65) + (100 \cdot 0,7) = 181,3 \text{ м.} \quad (5.2)$$

$$B = (n_1 \cdot l_1) + (n_2 \cdot b_2) + (n_4 \cdot b_4), \text{ м} \quad (5.3)$$

де  $B$  – ширина основного приміщення, м;

$n_4$  – кількість проходів між рядами нар;

$l_1$  – довжина нар, м;

$b_4$  – ширина проходів між рядами нар, м;

$$B = (2 \cdot 1,8) + (2 \cdot 0,65) + (1,0 \cdot 1,2) = 6,1 \text{ м.}$$

#### 5. Накреслимо схему сховища

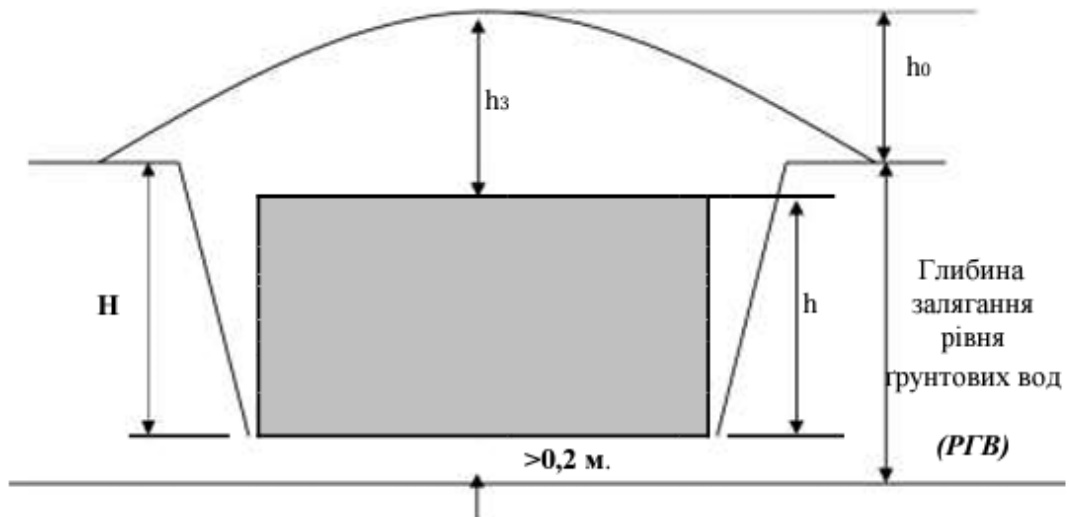


Рис. 5.2 – Схема заглиблення захисної споруди з дотриманням основних

ВИМОГ

### **6. Визначимо глибину котловану $H$ для посадки сховища**

Проведеними дослідями встановлено оптимальне з точки зору маскування, перевищення верхньої точки обвалування над рівнем землі:

– для бліндажів та сховищ, які розташовані на відкритій рівнині – не більш 80 см;

– для бліндажів та сховищ, які розташовані в складках рельєфу пересічної та закритої місцевості – до 100 см.

$$H = h + h_3 - h_0 = 1,8 + 1,5 - 0,6 = 2,7 \text{ м}, \quad (5.4)$$

де  $H$  – глибина котловану;

$h$  – висота остова сховища (бліндажу);

$h_3$  – прийнята захисна товща ґрунту;

$h_0$  – перевищення обвалування над рівнем землі.

$$\text{РГВ} - H = 3,0 - 2,7 = 0,3 \text{ м.}$$

**Результат розрахунку.** Ширина основного приміщення для сховища на 800 чол. буде складати 6,1 м, розрахункова довжина дорівнює 181,3 м, глибина котловану 2,7 м. Рівень ґрунтових вод ( $0,3 > 0,2$ ) дозволяє заглибити сховище на визначену глибину.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню актуального завдання – забезпечення безпечних умов праці за пиловим фактором на підприємствах з виробництва дерев'яних конструкцій та виробів. За результатами виконаних комплексних досліджень, спрямованих на: прогнозування стану виробничого середовища; вивчення фізичних процесів, що визначають умови праці на деревообробних підприємствах; конструювання, встановлення області раціонального застосування та оптимізації параметрів систем колективного захисту працівників від негативного впливу шкідливих виробничих факторів.

За результатами роботи можна зробити такі основні висновки:

1. Встановлено, що до шкідливих виробничих факторів, дія яких можлива на працюючих на технологічних процесах виробництва дерев'яних будівельних виробів та конструкцій, віднесено підвищену запиленість повітря робочої зони.

На основі результатів виконаних досліджень з оцінки пилової обстановки на підприємстві було виявлено, що запиленість повітря на робочих місцях перевищує встановлений норматив  $ГДК_{рз}$  для пилу в середньому в 1,3–2,5 рази. При цьому найбільш несприятливі умови праці відзначаються на робочих місцях верстатників шліфувально-стрічкових верстатів, де концентрація пилу досягає значень до 5,7  $ГДК_{рз}$ .

2. Встановлено, що основною причиною перевищення  $ГДК_{рз}$  пилу є нестійкість роботи аспіраційних систем внаслідок невідповідності фактичних та проектних об'ємів повітря, що відсмоктується від аспірованого обладнання, обумовленого утворенням пилових відкладень на внутрішніх поверхнях горизонтально прокладених повітроводів, а також відмов апаратів пилоочищення внаслідок забивання або абразивного зношування.

3. За результатами вивчення дисперсного складу та основних властивостей деревного пилу, дані про які необхідні для вирішення питань знепилювання повітря в робочій зоні:

– встановлено, що до зони дихання працівників надходять пилові частки із розмірами менше 20 мкм. При цьому 8–15 % їхньої маси припадає на частку частинок  $PM_{10}$ , частку часток  $PM_{2,5}$  – 0,1-0,3 %;

– показано, що пофракційний розподіл маси частинок для пилу, що надходить у зону дихання працівників, апроксимується формулою Годєєна-Андрєєва-Шумана;

– виявлено, що при подачі повітря безпосередньо до робочої зони за її межі виносяться більш дрібніші частинки з медіанним діаметром  $d_m = 6,8$  мкм, ніж при подачі повітря до робочої зони з висоти до 4-х м ( $d_m = 10,2$  мкм);

– встановлено, що найдрібніший пил надходить у повітря робочої зони при обробці деревини різних порід на шліфувально-стрічкових верстатах. У цьому випадку частка частинок  $PM_{10}$  складає 50 %, частка частинок  $PM_{2,5}$  – 1,5 %;

– отримані залежності для визначення швидкості осідання пилових частинок, що утворюються під час виробництва дерев'яних будівельних конструкцій та виробів з урахуванням розмірів та форми частинок залежно від породи деревини, що обробляється;

– встановлено, що досліджуваний пил відноситься до пилу, що характеризується гарною сипкістю, слабким аркоутворенням і великою аерироемністю.

4. Для забезпечення надійності систем аспірації, призначених для знепилювання повітря робочої зони, на основі даних про властивості досліджуваного пилу запропоновано використання відводів-закручувачів, що створюють закручені потоки, які характеризуються підвищеною здатністю приводити в рух та переносити пилові частинки. Таке рішення дозволило покращити умови переміщення пилоподібних матеріалів та запобігти утворенню пилових відкладень у повітроводах у процесі роботи аспіраційної системи. За результатами дослідно-промислових випробувань встановлена величина параметра інтенсивності закрутки потоку, при якій практично

забезпечується незмінність об'ємів повітря, що відсмоктується від аспірованого обладнання та їх відповідність необхідним значенням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів. Вид. Основа. 2003. 335 с.
2. Бехта П.А. Технологія деревинних плит і пластиків. Вид. Основа. 2004. 780 с.
3. Козак Р.О., Козакєвич П.А. Технологія деревинної маси. Вид. Основа. 2004. 348 с.
4. Батлук В.А., Василів Р.М., Стець Р.Є. Підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсних фракцій пилу в системах очистки повітря від пилу деревообробних підприємств. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2012. № 4. С. 43-49.
5. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель[Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.–Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с.
6. Мадані М.М. Зниження запиленості повітря робочої зони на деревообробних підприємствах. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 11. С. 68-73. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.10>
7. Методичні вказівки для практичних робіт з дисципліни: «Очистка та рекуперація промислових викидів підприємств переробки рослинної сировини» для магістрів денної і заочної форми навчання, галузі знань 16 – «Хімічна та біоінженерія», спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини» / Укл. Бугрим М.В. Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2016. 36 с.
8. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Геоекологічне обґрунтування проектів природокористування» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами» спеціальності 106 «Географія» денної та заочної

форм навчання [Електронне видання] / Залеський І. І. Рівне: НУВГП, 2021. 40 с.

9. Жуковський С.С. та ін. Вентиляція приміщень: навч. посібник. Львів : Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2007. 476 с.

10. Мадані М.М., Гаркович О.Л. Техніка та технології очищення газових викидів. для студ. закладів вищої освіти. Одеса: ОНАХТ «Академия», 2018. 226 с.

11. Старик В. Використання відходів деревообробної промисловості у будівельній галузі. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання* : матеріали X студент. Наук.-техн. конф., м. Київ, 15-16 квіт. 2007. Київ, 2007. С. 166-166.

12. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : колективна монографія / [авт. кол. : Мадані М. М., Крутоголова І. О., Андрєєва Н. М. та ін.] / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ : Яроченко Я. В., 2022. 566 с. : рис., таблиці / Online-видання. DOI <https://doi.org/10.51500/7826-23-0>

13. «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів шкідливих речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць» : затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23.02.2005 №30.

14. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва : ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 [Чинний з 01.12.2007]. Київ: Держстандарт України, 2008. 16 с.

15. Козій І.С., Рой І.О. , Яхненко О.М. , Пономаренко Р.В. , Щербак С.С. Математично-статистичне дослідження впливу дрібнодисперсних твердих забруднюючих речовин на здоров'я людини. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10. С. 23-27.

16. Wood Dust Exposure in Wood Industry and Forestry / Dinko Puntari, Ankica Kos, Zdenko Smit, Zeljko Zecic // Coll. Antropol. 29 (2017) 1: 207-211 UDC 612.21:611.24 Original scientific paper 207-211.

17. Управління інспекційної діяльності у Тернопільській області Піденно-Західного міжрегіонального управління Державної служби з питань праці. Шкідливі виробничі фактори у деревообробній промисловості :офіц. сайт. URL: <https://te.dsp.gov.ua/shkidlyvi-vyrobnychi-factory-u-derevoobrobnej-promyslovosti/> (дата звернення 10.07.2024).

18. Гнушев В.О. Вентиляція та пневмотранспорт : навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 183 с.

19. Вент-заводи. Циклони CIOT-M і CIOT-M1 : офіц. сайт. URL: <https://7-vz.com/ua/category/cyklony-siot-m-i-siot-m1/> (дата звернення 18.07.2024).

20. Ратушняк Г. С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів. Вінниця : ВДТУ, 2002. 96 с.

21. Боженко М.В. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с.

22. Шушляков О. В. Підвищення ефективності сухої очистки газів за допомогою інерційних апаратів : автореф. дис. ... докт.техн. наук. Харків: ХАТУБА, 2004. 37 с.

23. VENTUS. Промислові пиловловлювачі та аспіраційні установки. Листок-каталог : офіц. сайт. URL: <https://ventus.ua/s/pyleuloviteli> (дата звернення 29.05.2024).

24. Правила охорони праці в деревообробній промисловості : НПАОП 20.0-1.02-05 [Чинний з 19.02.2013]. Київ: Держстандарт України, 2013. 12 с.

25. Szewczynska M., Pozniak M. Assessmnt of occupational exposure to wood dust in the Polish furniture industry. *Medycyna Pracy*. 2017. № 68.1. P. 45-61.

26. Дадак Ю.Р., Ляшеник А.В. Чинники комплексного вирішення питання екологічної ефективності процесів знепилення на деревообробних підприємствах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26.7. С. 277-284.

27. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О. Будівельне матеріалознавство : підручник. К. : «Видавництво Ліра-К», 2012. 624 с.

28. Технічна освіта. Матеріалознавство (деревообробка) : офіц. сайт. URL: <https://joiner.org.ua/materialoznavstvo-derevoobrobka> (дата звернення 29.05.2024).

29. Таблиця твердості і стабільності порід деревини : офіц. сайт. URL: <https://parketcapital.com.ua/ua/tablica-tverdosti-i-stabilnosti-porod-drevesiny> (дата звернення 30.05.2024).

30. Архіпова Т. Ф. Прикладне матеріалознавство : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 60 с.

31. Куц В. П. Пристрої для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2008. Вип. 32. С. 144 -32.

32. Куц В. П., Балабан С. М., Чиж В. М., Ханик Я. М. Спосіб очистки газів від тонковолокнистого пилу. *Наукові праці ОНАХТ*. 2010. Вип. 37. С. 281 – 284.

33. Мадані М. М. Техніка та технології очистки газових викидів : метод. вказівки до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : спец. 101 "Екологія" галузі знань 10 "Природничі науки" та 183 "Технології захисту навколишнього середовища" галузі знань 18 "Виробництво та технології". Одеса : ОНТУ, 2022. 19 с.

34. Мадані М. М. Техніка та технології очистки газових викидів : метод. рекомендації до практ. занять [Електронний ресурс] : спец. 101 "Екологія" галузі знань 10 "Природничі науки" та 183 "Технології захисту навколишнього середовища" галузі знань 18 "Виробництво та технології". Одеса : ОНТУ, 2022. 52 с.

35. Hollingworth R. Dust a bigger problem than gout think. *Factory Equipment news*, 1978. v.28. № 426. P. 48-49.

36. Mrackova E. et al. Creation of wood dust during wood processing: Size analysis, dust separation, and occupational health. *BioResources*, 2016. №11.1. P. 209-222.

37. Озарків І. М. та ін. Методи розрахунку основних параметрів твердих дисперсних матеріалів (пилу, стружки). *Науковий вісник НЛТУ України*, 2017. № 27.3. С. 174-176.

38. Корнілович Б.Ю., Пилипенко І. В., Ковальчук І.А. Фізико–хімія сучасних неорганічних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 280 с.

39. Тимошенко В. І., Книщенко Ю. В. Пневмотранспорт сипучих матеріалів з підвищеним тиском несучого газу. *Наука та інновації*, 2024. № 9. С. 5-17.

40. Правила охорони праці в деревообробній промисловості. Державний комітет України з нагляду за охороною праці. Наказ № 20 від 30.01.2005.

41. Каспрук В.Б. Підвищення ефективності пиловловлювання в апаратах із зустрічними закрученими потоками : дис. ...канд. техн. наук : 05.05.13. Тернопіль, 1998. 165 с.

42. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. К.: Знання, 2007. 367 с.