



СТАЛИЙ РОЗВИТОК:

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.
ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Колективна монографія

**СТАЛИЙ РОЗВИТОК:
ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.
ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ.
ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.**

Колективна монографія

Київ
Яроченко Я.В.
2024



Міністерство освіти і науки України
Львівська обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут сталого розвитку ім. В. Чорновола
Західний науковий центр НАН України і МОН України
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

**СТАЛИЙ РОЗВИТОК:
ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.
ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ.
ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.**

Колективна монографія

За редакцією проф. Мальованого М. С.

Київ
Яроченко Я.В.
2024

УДК 502.17

С 76

DOI <https://doi.org/10.51500/7826-56-8>



Міністерство освіти і науки України
Львівська обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут сталого розвитку ім. В. Чорновола
Західний науковий центр НАН України і МОН України
Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги

*Рекомендовано Вченою радою
Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління
(протокол № 5-24 від 12.11.2024 року)*

Відповідальний за випуск:

Вронська Н. Ю. кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка».

Рецензенти:

Пляцук Л. Д. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету.

Шмандій В. М. доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського.

Адаменко Я. О. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

Масікевич Ю. Г. доктор біологічних наук, професор, професор кафедри гігієни та екології Буковинського державного медичного університету.

С 76 **Сталий розвиток:** захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : кол. монографія / [авт. кол. : Русин І., Дячок В., Скиба В., Вознюк Н. та ін.] / за ред. проф. Мальованого М. С. — Електрон. дан. — Київ : Яроченко Я. В., 2024. — 420 с. : рис., табл. — on-line.

ISBN 978-617-7826-56-8 (on-line)

Монографію присвячено освітленню результатів наукових доповідей, оголошених на VIII Міжнародному конгресі (16-18 жовтня 2024, Україна, Львів) де було розглянуто наукові дослідження авторів у сфері: екології, екологічної та цивільної безпеки, туризму, підприємництва та біржової діяльності тощо.

Рекомендовано для науковців, викладачів, аспірантів, докторантів тощо.

УДК: 502.17

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»	5
1.1. Русин І.Б., Дячок В.В. Роль пасивної технології зелених дахів у сталому розвитку.....	6
1.2. Скиба В., Вознюк Н. Управління якістю поверхневих вод у контексті сталого розвитку.....	23
1.3. Скиба В., Ганчук М., Аюбова Е. Світовий досвід інтеграції екологічної освіти (освіти для сталого розвитку) в систему вищої освіти.....	72
1.4. Лукашов Д.В., Тесьолкіна Т.С. Особливості функціонування біогеохімічних циклів Cu, Ni та Cd в умовах екосистем грабових дібров середнього Придніпров'я.....	107
1.5. Євдокимов С.О. Інноваційна модернізація кіберфізичних систем для підтримки сталого розвитку.....	149
1.6. Saienko T.V., Dudar T.V. Ukraine is Facing Environmental and Ethical Problems of the World.....	167
1.7. Bobro N. Implementation of the Digital University Concept to Achieve Sustainable Development.....	181
1.8. Гачкевич А. Концепція екологічних прав: підхід Васака щодо поділу прав людини на покоління.....	193
1.9. Мокрий В.І., Казимира І.Я., Арустамян Е.М., Бондарь В.І. ГІС-технології забезпечення сталого розвитку НПП «Північне Поділля».....	207
РОЗДІЛ 2 «ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ, МОНІТОРИНГ, АУДИТ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ, ПЕРСПЕКТИВНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ»	221
2.1. Федонюк В.В., Іванців Я.В., Федонюк М.А., Іванців В.В. Розробка інтерактивної карти «Кліматичні зміни в Черемському ПЗ» та оцінка впливу цих змін на біорізноманіття.....	222

2.2.	Мудрак К.В., Березіна Н.О. Оптимізація впливу на довкілля протижеледних матеріалів.....	238
2.3.	Гайдучок О.Г., Кануннікова Н.О., Томашевський Р.С., Воробйов Б.В., Сакун А.О. Застосування пристроїв для очищення та дезинфекції води в умовах надзвичайних екологічних ситуацій.....	254
2.4.	Дячок В.В., Гуглич С.І., Мандрик С.Т. Вплив диоксиду сульфуру на процеси поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями.....	277
2.5.	Петрушка К.І., Мальований М.С., Петрушка І.М., Бондар О.І. Методи визначення індексів небезпеки для ґрунтів забруднених токсичними сполуками внаслідок військових дій в Україні на прикладі міста Львова.....	301
2.6.	Назаревич Л.Є., Назаревич А.В., Ніщименко І.М., Назаревич Р.А. Про сейсмічну уразливість території України.....	327
2.7.	Мадані М.М. Обезпилювання повітря виробничих приміщень підприємств деревообробки.....	345
2.8.	Криховець О.В. Моніторинг нітратного забруднення джерельної води.....	392
2.9.	Уланов М.М. Дослідження технологічної, екологічної та економічної доцільності великомасштабного виробництва низьковуглецевого водню в Україні.....	404

ОБЕЗПИЛЮВАННЯ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ПІДПРИЄМСТВ ДЕРЕВООБРОБКИ

Мадані М.М., Одеський національний технологічний університет, к.т.н, доцент
кафедри ЕВтаПТ, Україна

Abstract

The work considers harmful production factors that can affect working woodworking enterprises. Harmful production factors include increased dustiness of the air in the working area. It was established that the main cause of dustiness in industrial premises is the instability of the aspiration systems due to the discrepancy between the actual and design volumes of air sucked from the aspirated equipment.

Based on the results of experimental studies of the processes of dust distribution and settling in production premises, it was established that for dust generated during woodworking, regardless of the type of wood, the change in the dustiness of the air in the working area and the density of dust deposition in production premises at different distances from the sources of dust emission is subject to an exponential law. Experimental dependences characterizing these changes depending on the type of technological operation were obtained.

In order to ensure the reliability of aspiration systems and reduce dustiness of the air in ventilation emissions into the atmosphere, it is proposed to use dust cleaning devices with opposing swirling flows with a conical separation chamber.

Вступ

Технологічні процеси при виробництві виробів з деревини супроводжуються значними виділеннями пилю у виробничі приміщення. Відповідно до ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, до числа шкідливих виробничих факторів, дія яких на працюючих можлива в технологічних процесах обробки деревини, віднесені підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони.

Вирішенням питань, пов'язаних зі зниженням запиленості повітряного середовища на підприємствах деревообробної промисловості, зокрема на підприємствах з виробництва деревних будівельних матеріалів, займалися багато дослідників – Балтук В. А., Козій І. С., Дадак Ю. Р., Ратушняк Г. С. та інші (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Дадак, & Ляшеник, 2016; Козій, Рой, Яхненко, & Пономаренко, 2021; Мадані, 2022; Ратушняк, 2002). Однак у зв'язку з «малою небезпекою» деревного пилу ці дослідження в більшій мірі були спрямовані на вирішення питань, пов'язаних зі зниженням пилових викидів в атмосферне повітря, і в меншій – на вирішення проблем знепилювання повітря робочої зони. При цьому недостатньо вивчені процеси поширення та осідання пилу, що утворюється у виробництві дерев'яних будівельних конструкцій. Тому дослідження, спрямовані на вивчення перерахованих факторів, що визначають формування пилової обстановки на підприємстві, є актуальними.

Більшість дослідників (Hazir, & Koc, 2019; Kminiak, Kucerka, Kristak, & Reh, 2021; Nasir, & Cool, 2020; Oskajová, Kucerka, Kminiak, & Křišťák, 2020; Дадак, & Ляшеник, 2016) відзначають, що висока запиленість повітря на робочих місцях верстатників під час виробництва дерев'яних конструкцій, в першу чергу обумовлена неефективною і 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 відсмоктувачами від устаткування, що в свою чергу приводить до вибивання пилу в повітря робочої зони. У зв'язку з цим актуальними є дослідження, направлені на вирішення питань забезпечення надійності систем аспірації.

Метою роботи є: мінімізація шкідливого впливу пиловиділень на здоров'я працівників за допомогою забезпечення надійності систем аспірації на основі результатів дослідження процесів поширення, осідання та уловлювання пилу, що утворюється на деревообробних підприємствах.

Основними завданнями, спрямованими на виконання мети були:

- аналіз технологічних процесів виробництва будівельних конструкцій з деревини, як джерел виділення забруднюючих речовин у повітря робочої зони;
- аналіз методів та засобів знепилювання повітря робочої зони при виробництві будівельних матеріалів та виробів з деревини;
- експериментальні дослідження процесів поширення та осідання деревного пилу у виробничих приміщеннях за різних способів організації знепилювання повітря робочої зони під час виробництва будівельних матеріалів та виробів з деревини;
- розробка рішень щодо забезпечення надійності аспіраційних систем деревообробних підприємств та експериментальна оцінка ефективності цих рішень;
- розробка конструкції апарату пилоочищення для забезпечення надійності аспіраційних систем.

Матеріали та методи досліджень

Методи досліджень включали: аналітичне узагальнення відомих наукових і технічних результатів, експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах, обробку експериментальних даних методами математичної статистики і кореляційного аналізу.

Достовірність наукових положень і висновків обґрунтована застосуванням класичних положень теоретичного аналізу, плануванням необхідного обсягу експериментів, підтверджена критерієм збіжності отриманих результатів експериментальних досліджень, виконаних в лабораторних і промислових умовах, з результатами інших авторів.

Характеристика об'єкту обстеження. Експериментальні дослідження з оцінки пилової обстановки в виробничих приміщеннях проводилися на деревообробному підприємстві «Песа», виробничі потужності якого знаходяться у с. Хатки Тернопільської області. Дане підприємство спеціалізується на випуску будівельних матеріалів, виробів та конструкцій з деревини.

На рис. 1 наведено переріз (рис.1, а), план на відм. 0,000 м (рис. 1, б) та план на відм. 2,500 м (рис. 1, в) одного з обстежених деревообробних цехів.

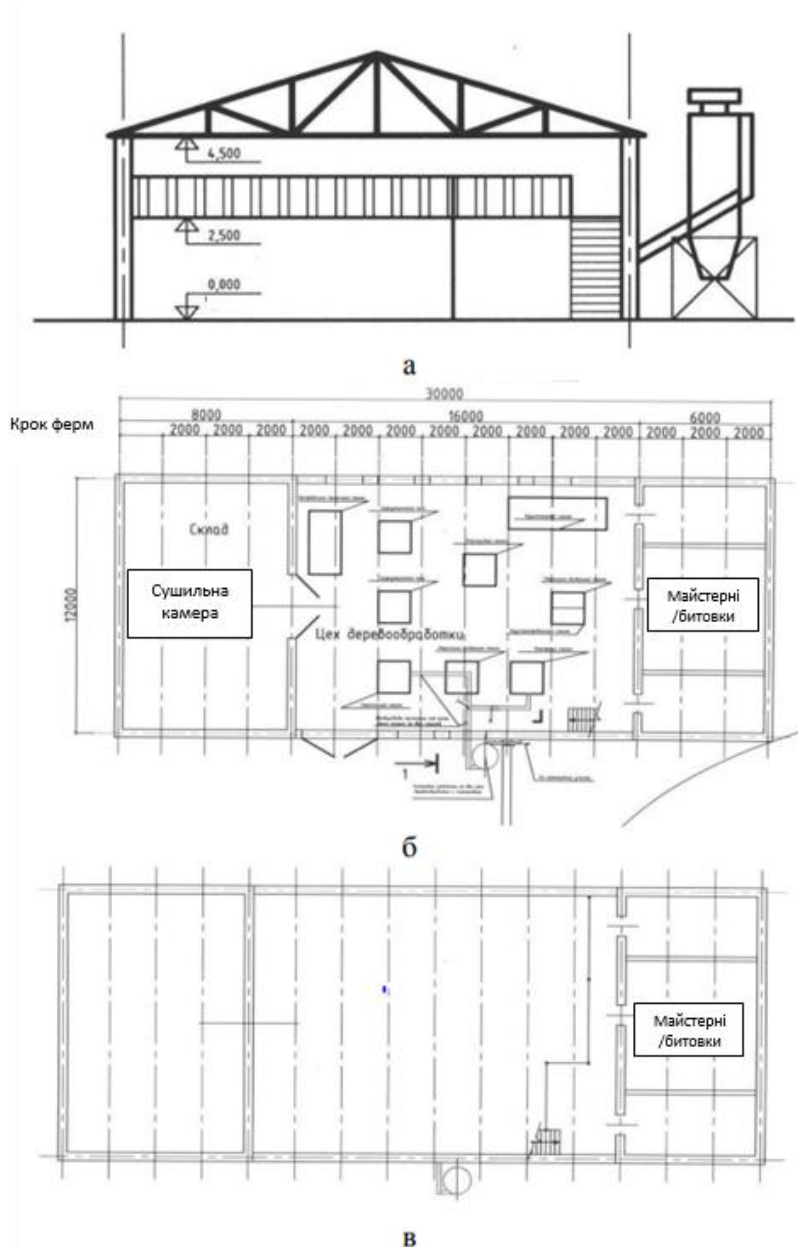


Рис. 1. Плани та розріз одного з обстежуваних цехів:
а – переріз; б - план на відм. 0,000; в – план відм. + 2,500 м

Виробниче приміщення має висоту 4,5 м. На відм. 0,000 м розміщені склад, сушильна камера, побутові приміщення та технологічне обладнання: шліфувально-стрічковий верстат, циркуляційна пилка № 1, рейсмусовий верстат, круглопилний верстат, циркуляційна пилка № 2, свердлильно-довбіжний верстат № 1, стругальний, свердлильно-довбальний верстат № 2,

фрезерний верстат. На відм. + 2,500 м розташовується майданчик, не зайнятий жодним обладнанням.

Для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов у обстежених цехах влаштована припливно-витяжна вентиляція, запроектована відповідно до чинних норм та рекомендацій (НПАОП 20.0-1.02: 2005).

Для видалення пилоподібних відходів, що утворюються при обробці деревини, безпосередньо від місць їх утворення призначені розгалужені або колекторні системи аспірації, що включають: вбудовані в корпуси верстатів пилостружкоприймачі; мережу повітроводів; вертикальний колектор-пилозбірник; пиловий вентилятор; циклон.

У холодну пору року для компенсації об'єму повітря, що видаляється з цеху аспіраційними системами, здійснюється організоване притікання підігрітого повітря (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Боженко, 2019; Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 30, 2000). При цьому подача припливного повітря у приміщення здійснюється або з висоти до 4 м від рівня підлоги через перфоровані повітроводи або за «методом затоплення» безпосередньо в робочу зону з малими швидкостями з допомогою повітророзподільників, що мають перфоровані поверхні (Бехта, 2003; Боженко, 2019; Жуковський, Возняк, Довбуш, & Люльчак, 2007). Розрахунковий повітрообмін визначено за умови компенсації об'єму повітря, що видаляється з робочої зони системами місцевих відсмоктувачів (Кривенко, Пушкарьова, Барановський, & Кочевих, 2012).

У теплий період року організована подача повітря у виробничі приміщення не здійснюється, і зовнішнє повітря надходить у робочу зону через відкриті вікна, ворота та технологічні отвори (Бехта, 2003; Боженко, 2019; Жуковський, Возняк, Довбуш, & Люльчак, 2007).

Відповідно до вимог (НПАОП 20.0-1.02:2005; Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 30 від 23.02.2000; ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007) вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні

виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції, для контролю за якістю виробничого середовища та профілактики несприятливої дії на здоров'я працюючих.

В обстежених цехах виготовляються вироби з сосни, ялиці, липи, буку, дуба та ясеня.

Виклад основного матеріалу

Аналіз технологічних процесів деревообробних підприємств. Відповідно до технології та організації виробництва до складу деревообробних підприємств входять (Бехта, 2003): 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 круглопильні, стрічковопильні, 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 (Бехта, 2003). 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 (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Бехта, 2003; Мадані, 2022).

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 (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Мадані, 2022).

При виробництві деревостружкових плит деревний пил виділяється в процесах виготовлення та сортування тріски, виготовлення стружки, механічної обробки плит (обрізання, шліфування, розкрій) (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Старик, 2007). 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 (Балтук, Василів, & Стець, 2012; Бехта, 2003).

На всіх етапах технологічного процесу виробництва фанери відбувається виділення забруднюючих речовин, перелік яких наведено у табл. 1 (Бехта, 2003).

Таблиця 1

Виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони на окремих етапах технологічного процесу виробництва фанери

Ділянка виробництва фанери	Забруднююча речовина			
	пил	фенол	формальдегід	аміак
Ділянка обробки фанерної сировини	+	-	-	-
Ділянка лущення чурбаків	+	-	-	-
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	-	+	+	+

Відповідно до (Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 30 від 23.02.2000; ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007) пил деревний має IV клас небезпеки з

$ГДК_{рз} = 6 \text{ мг/м}^3$, 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 дерев (Kminiak, Kucerka, Kristak, & Reh, 2021; Дадак, & Ляшеник, 2016).

Постійний контакт з деревним пилом призводить до різних захворювань органів дихання, шкіри та очей, а також до розвитку пневмоконіозу та пилового бронхіту (Matrat, 2019).

Аналіз методів та засобів знепилювання повітря виробничих приміщень деревообробних підприємств. Для вирішення завдання забезпечення необхідних нормативів за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони застосовується вентиляція, як одна з засобів колективного захисту працюючих від шкідливих виробничих факторів: для підтримки концентрації шкідливих парів на рівні не вище $ГДК_{рз}$ – загальнообмінна припливно-витяжна; для знепилювання повітря робочої зони – локальна (місцева витяжна) системи аспірації.

Для уловлювання деревного пилу, стружки і тирси, що утворюються під час механічної обробки матеріалів, деревообробні верстати, що встановлюються на механічній ділянці, обладнуються місцевими відсмоктувачами (приймачами), які, як правило, вбудовані в конструкцію верстата і одночасно є огороженням для його ріжучих частин (Kminiak, Kucerka, Kristak, & Reh, 2021; Nasir, & Cool, 2020). Уловлювання твердих домішок здійснюється за рахунок дії повітряного потоку та за рахунок використання швидкості руху твердих частинок, що їм надає ріжучий інструмент. Об'єм видаленого через приймачі повітря повинен забезпечувати уловлювання та передачу пилу до відсмоктуючого повітропроводу, а також стійке транспортування частинок у зваженому стані повітропроводом (Жуковський, Возняк, Довбуш, & Люльчак, 2007). Головна умова при виборі об'єму повітря, що відсмоктується – ефективно знепилювання процесів обробки деревини. Тому об'єми повітря, що видаляються від різних верстатів,

визначаються не за умови забезпечення оптимальної концентрації частинок у повітряному потоці, а за результатами експериментального обстеження місцевих відсмоктувачів, що забезпечують ефективне знепилення (Бехта, 2003; Жуковський, Возняк, Довбуш, & Люльчак, 2007).

Як правило, у ріжучих головок токарних та фрезерних верстатів, відсутня можливість влаштування приймачів. Тому в місцях розміщення цього обладнання, а також на тих ділянках виробничих приміщень, де можливе скупчення стружки та тирси, передбачається встановлення підлогових відсмоктувачів безперервної або періодичної дії (Бехта, 2003).

На заточній ділянці уловлювання пилу, здійснюється за допомогою місцевих відсмоктувачів. Об'єм повітря, що видаляється ними, визначається за умови 2 м³/год на 1 мм діаметра заточувального круга (Бехта, 2003).

Пилоприймачі різних верстатів мережею повітроводів об'єднуються в системи аспірації, які поділяються на розгалужені та колекторні.

До перших (рис. 2) (Kminiak, Kucerka, Kristak, & Reh, 2021; Nasir, & Cool, 2020) належать системи зі змінним діаметром магістрального повітроводу, який зростає по мірі приєднання до нього відгалужень від окремих верстатів.

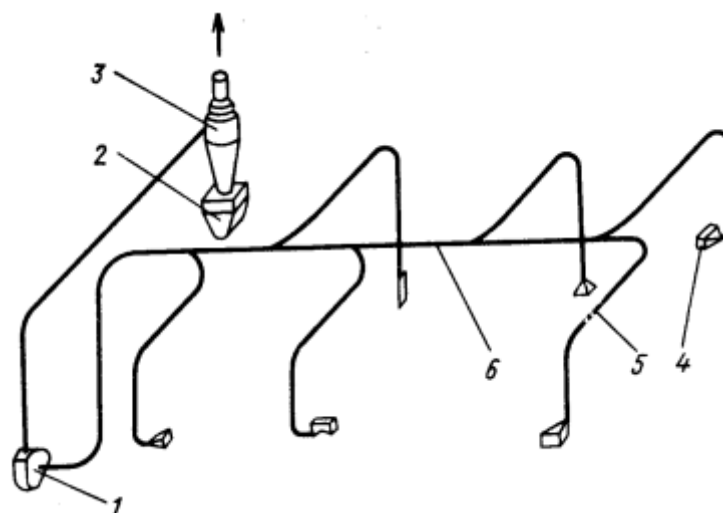


Рис. 2. Схема компонування розгалуженої системи:

- 1 – вентилятор; 2 – бункер; 3 – циклон; 4 – місцевий відсмоктувач;
5 – відгалуження від верстата; 6 – збірний магістральний повітروطвід

По довжині магістрального повітропроводу суттєво змінюється статичний тиск, у зв'язку з чим застосування таких систем не допускає зміни числа верстатів чи місця їх розміщення у виробничому приміщенні. У такому випадку може статися зниження об'єму і відповідно швидкості повітря, що відсмоктується від верстата, до рівня нижче транспортуючого, що, у свою чергу, призведе до зростання запилення повітря на робочих місцях.

У колекторних системах (рис. 3) магістральний повітропровід замінюється на колектор (барабанний, вертикальний, горизонтальний, конусний), який є камерою практично постійного статичного тиску (Жуковський, Возняк, Довбуш, & Люльчак, 2007; Ратушняк, 2002).

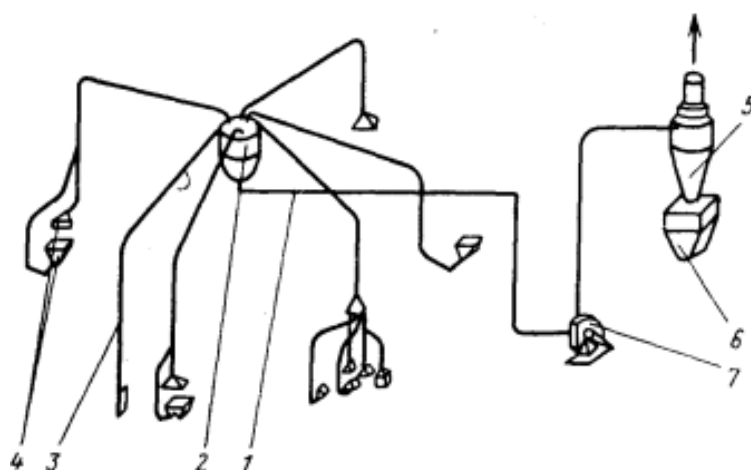


Рис. 3. Схема колекторної системи:

- 1 – збірний повітропровід; 2 – барабанний колектор; 3 – відгалуження від верстата;
4 – місцевий відсмоктувач; 5 – циклон; 6 – бункер; 7 – вентилятор

За такого рішення створюються однакові аеродинамічні умови для всіх відгалужень від верстатів. Тому такі системи можуть працювати стійко незалежно від зміни числа верстатів чи зміни їх розташування.

Аналіз механічних властивостей деревини. Інтенсивність пилоутворення та ступінь негативного впливу пилу, що утворюється, залежить від механічних властивостей оброблюваної деревини. До механічних властивостей деревини відносяться міцність, твердість, жорсткість, ударна в'язкість тощо (Кривенко та ін., 2012).

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 (Кривенко та ін., 2012).

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. 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. 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 (Кривенко та ін., 2012).

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 на показники міцності деревини (Кривенко та ін., 2012).

Показники механічної міцності для деревних порід, оброблюваних на обстеженому підприємстві, при вологості 15 %, наведено у табл. 2 (Кривенко та ін., 2012).

Показники механічної міцності деревини

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
Липа	51,1	97,3	8,3	7,2
Ялиця	33,7	51,9	4,7	5,3
Твердолистові деревні породи				
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 % (Кривенко та ін., 2012).

Твердість деревини також визначається такими факторами, як її вологість, вміст у річних шарах пізньої деревини, місця зростання та час заготівлі. Так, наприклад, при підвищенні вологості деревини на 1 % торцева твердість зменшується на 3 %, тангенціальна та радіальна – на 2 %. У разі збільшення пізньої деревини підвищується густина та покращуються механічні властивості матеріалу. Сосни, які вирости на сухому місці, мають прямі високі стовбури та їх деревина твердіша, ніж деревина сосен, що ростуть на болотистих ґрунтах. Твердість, зрубаного дерева в лютому, менша, ніж твердість дерева, зрубаного в грудні (Кривенко та ін., 2012).

В Україні та у європейських країнах твердість деревини прийнято оцінювати за шкалою Брінелля, США – за шкалою Янка (Кривенко та ін., 2012).

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 (Кривенко та ін., 2012).

Всі деревинні породи при 12-процентній вологості поділяються на три групи (Кривенко та ін., 2012):

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 386 до 825 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/мм², липа – 2,6 кгс/мм², дуб – 3,8 кгс/мм², бук – 3,6 кгс/мм², ясен – 4,0 кгс/мм² (Крив Кривенко та ін., 2012).

Оцінка запиленості повітря на робочих місцях. Експериментальні дослідження з оцінки вмісту пилу в повітрі в зоні дихання, тобто у просторі в радіусі до 50 см від обличчя працюючого (ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007), проводилися на найбільш характерних робочих місцях. Виміри здійснювалися у холодний, перехідний та теплий періоди року. При цьому відбір проб проводився за різних способів подачі припливного повітря у приміщення, характерних для деревообробного виробництва.

Для вимірювання рухливості повітря на робочому місці застосовувався термоелектроанемометр ТАМ-1, для визначення температури та відносної вологості – термогігрометр Testo 608-Н1.

Вміст шкідливої речовини переважно фіброгенної дії, до яких відноситься деревний пил, в даній конкретній точці характеризується сумарним часом відбору, що становить 30 хв (ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007). За вказаний період часу відбиралися три послідовні проби через рівні проміжки часу, що становлять 10 хв. Протягом однієї зміни в одній точці послідовно були відібрані по три проби за умови незмінності послідовності технологічних операцій, ступеня завантаження обладнання та породи оброблювальної деревини.

Відповідно до вимог (НПАОП 20.0-1.02: 2005) проби повітря на вміст пилу відбиралися на аналітичні аерозольні фільтри типу АФА, що розміщувалися у відкритому алонжі.

Концентрація пилу визначалася за формулами, які враховують умови відбору та аналізу проб (Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 30, 2000)

$$C = a/V, \text{ мг/м}^3 \quad (1)$$

де a – маса пилу у відібраній пробі повітря, мг;

V – об'єм повітря, взятий для аналізу, та приведений до умов при температурі 293 °К (20 °С) та атмосферному тиску 101,3 кПа (760 мм рт. ст.), м³.

При аспіраційному методі відбору проб (Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 30, 2000)

$$V = 293VtP / 101,3 (273 + t), \text{ м}^3 \quad (2)$$

де t – температура повітря на місці відбору проб, °С;

P – атмосферний тиск, кПа

Середні значення концентрації пилу на робочих місцях верстатників різних верстатів на ділянках механічної обробки деревини різних порід в різні періоди року при різних способах повітророзподілу, а також з урахуванням виду системи знепилюючої вентиляції наведено у табл. 3.

Запиленість повітря на робочих місцях верстатників

Періоди року					
холодний та перехідний			теплый		
Подання припливного повітря					
організована подача			неорганізована подача		
подача повітря в робочу зону з висоти до 4 м		подача повітря безпосередньо в робочу зону			
Локалізуюча вентиляція					
Централізована система аспірації	Індивідуальний обезпилюючий агрегат	Централізована система аспірації	Індивідуальний обезпилюючий агрегат	Централізована система аспірації	Індивідуальний обезпилюючий агрегат
Концентрація пилу, частки від ГДК					
1	2	3	4	5	6
Круглопилільні верстати					
Сосна					
2,21-2,35	2,2-2,33	2,16-2,3	2,12-2,3	2,42-2,5	2,4-2,5
Ялиця					
2,15-2,28	2,15-2,26	2,08-2,23	2,08-2,21	2,35-2,41	2,38-2,4
Липа					
2,12-2,25	2,1-2,23	2,04-2,22	2,04-2,22	2,32-2,4	2,3-2,4
Бук					
2,05-2,16	2,0-2,16	2,01-2,12	2,0-2,1	2,3-2,34	2,3-2,34
Дуб					
2,0-2,12	2,0-2,1	1,96-2,05	1,96-2,0	2,19-2,23	2,15-2,23
Ясень					
1,98-2,1	1,98-2,0	1,92-1,95	1,9-1,95	2,15-2,2	2,15-2,1
Стругальні верстати					
Сосна					
1,42-1,5	1,42-1,5	1,4-1,5	1,4-1,43	1,48-1,57	1,48-1,54
Ялиця					
1,38-1,47	1,38-1,45	1,36-1,41	1,35-1,42	1,42-1,5	1,41-1,5
Липа					
1,34-1,45	1,36-1,42	1,31-1,36	1,3-1,36	1,38-1,48	1,38-1,45
Бук					
1,31-1,38	1,3-1,4	1,28-1,32	1,28-1,32	1,35-1,42	1,35-1,4
Дуб					
1,29-1,36	1,28-1,34	1,27-1,31	1,27-1,31	1,33-1,41	1,3-1,4
Ясень					
1,27-1,34	1,25-1,34	1,24-1,28	1,24-1,28	1,2-1,36	1,2-1,34
Фрезерні верстати					
Сосна					
1,42-1,5	1,4-1,5	1,35-1,45	1,32-1,45	1,5-1,6	1,48-1,6
Ялиця					
1,38-1,5	1,37-1,46	1,31-1,41	1,3-1,40	1,44-1,52	1,41-1,54
Липа					
1,38-1,44	1,34-1,42	1,26-1,38	1,23-1,34	1,39-1,46	1,39-1,51

1	2	3	4	5	6
Бук					
1,37-1,40	1,29-1,37	1,22-1,32	1,2-1,31	1,39-1,45	1,38-1,45
Дуб					
1,28-1,36	1,27-1,36	1,22-1,31	1,20-1,31	1,35-1,44	1,36-1,44
Ясень					
1,28-1,35	1,26-1,34	1,21-1,30	1,20-1,30	1,34-1,43	1,33-1,43
Шипорізні верстати					
Сосна					
1,43-1,54	1,42-1,52	1,40-1,50	1,40-1,46	1,45-1,60	1,48-1,58
Ялиця					
1,39-1,50	1,39-1,45	1,35-1,47	1,34-1,44	1,42-1,58	1,41-1,58
Липа					
1,35-1,40	1,34-1,42	1,26-1,36	1,23-1,34	1,40-1,46	1,39-1,51
Бук					
1,29-1,36	1,28-1,34	1,24-1,28	1,24-1,28	1,20-1,36	1,20-1,34
Ясень					
1,17-1,22	1,15-1,24	1,04-1,18	1,10-1,20	1,20-1,30	1,20-1,30
Стрічковопилінні верстати					
Сосна					
1,0-1,27	1,0-1,2	1,0-1,17	1,0-1,15	1,2-1,25	1,20-1,30
Ялиця					
1,0-1,2	1,0-1,16	1,0-1,12	1,0-1,1	1,1-1,24	1,1-1,2
Липа					
1,0-1,16	1,0-1,15	0,98-1,05	0,96-1,1	1,1-1,14	1,1-1,12
Бук					
1,0-1,12	1,0-1,1	0,95-1,0	0,95-1,04	1,1-1,13	1,1-1,12
Дуб					
1,0-1,1	1,0-1,08	0,95-1,0	0,95-1,04	1,08-1,11	1,07-1,10
Ясень					
1,0-1,05	1,0-1,04	0,90-0,95	0,90-0,93	1,03-1,06	1,0-1,08
Свердлильні та довбані верстати					
Сосна					
0,98-1,0	0,98-1,0	0,96-0,99	0,96-0,99	1,0-1,05	1,0-1,04
Ялиця					
0,96-0,99	0,96-0,98	0,94-0,99	0,95-0,99	0,97-0,99	0,97-1,02
Липа					
0,95-0,97	0,95-0,96	0,93-0,96	0,93-0,96	0,97-0,99	0,97-1,00
Бук					
0,91-0,93	0,90-0,92	0,89-0,91	0,88-0,90	0,92-0,96	0,91-0,94
Дуб					
0,89-0,90	0,88-0,90	0,87-0,89	0,86-0,90	0,91-0,95	0,90-0,94
Ясень					
0,88-0,89	0,88-0,89	0,86-0,88	0,86-0,87	0,89-0,94	0,89-0,92
Шліфувально-стрічкові верстати					
Сосна					
5,2-5,4	5,4-5,5	4,6-4,8	4,5-4,8	5,4-5,8	5,6-5,7
Ялиця					
5,24-5,42	5,18-5,34	4,43-4,83	4,38-4,78	5,53-5,68	5,60-5,73

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6
Липа					
5,14-5,26	5,08-5,30	4,31-4,66	4,27-4,61	5,38-5,46	5,42-5,50
Бук					
4,9-5,1	5,01-5,13	4,27-4,44	4,18-4,43	5,00-5,35	5,20-5,23
Дуб					
4,74-4,44	4,10-4,47	4,15-4,30	4,10-4,33	4,88-5,20	5,0-5,10
Ясень					
4,70-4,80	4,80-4,83	4,10-4,30	4,00-4,20	4,80-5,10	5,0-5,10
Рейсмусові верстати					
Сосна					
1,1 – 1,3	1,1 – 1,3	1,0 – 1,1	1,0 – 1,15	1,2 – 1,35	1,2 – 1,3
Ялиця					
1,08 – 1,27	1,07 – 1,26	1,0 – 1,1	1,0 – 1,1	1,1 – 1,16	1,1 – 1,15
Липа					
1,07 – 1,26	1,06 – 1,25	0,96 – 1,05	0,96 – 1,1	1,1 – 1,14	1,1 – 1,12
Бук					
1,0 – 1,22	1,0 – 1,2	0,95 – 1,02	0,95 – 1,07	1,1 – 1,12	1,1 – 1,12
Дуб					
1,0 – 1,18	1,0 – 1,18	0,95 – 1,0	0,95 – 1,04	1,08 – 1,1	1,07 – 1,1
Ясень					
1,0 – 1,15	1,0 – 1,14	0,9 – 0,95	0,9 – 0,95	1,03 – 1,06	1,0 – 1,1

Отримані дані свідчать про те, що нормативна запиленість забезпечується тільки на робочих місцях у свердлильних верстатів. За концентрації пилу в зоні дихання працюючих найнесприятливіші умови відзначаються на робочих місцях верстатників шліфувально-стрічкових верстатів. У цих випадках концентрація пилу перевищує ГДК більш ніж у 5 разів. Такі результати свідчать про те, що всі відходи, що утворюються при шліфуванні, є пилом.

Також слід зазначити, що в холодний та перехідний періоди року запиленість повітряного середовища на робочих місцях знижується при подачі повітря безпосередньо в робочу зону порівняно з подачею повітря з висоти до 4 м. Разом з тим, концентрація пилу в зоні дихання працюючих у теплий період року підвищується порівняно з холодним та перехідним періодом, що можна пояснити тим, що в першому випадку зовнішнє повітря подається до приміщення без попередньої обробки.

Дослідження розподілення пилу у повітрі робочої зони. При проведенні експериментальних досліджень розподілення пилу в повітрі робочої зони відбір проб для визначення концентрації пилу проводився на висоті 1,5 м від підлоги приміщення на різних відстанях від верстатів різного типу. Заміри здійснювалися в холодний, перехідний та теплий період року. При цьому відбір проб проводився за різних способів подачі припливного повітря до приміщення, характерних для деревообробного виробництва. Протягом зміни в одній точці послідовно були відібрані по три проби за умови, що працює тільки один з обстежуваних верстатів при відключенні іншого обладнання.

Як приклад на рис. 4-9 наведено графічні залежності, що характеризують зміну концентрації пилу у повітрі робочої зони на різних відстанях від круглопильного верстата під час обробки різних порід деревини.

Отримані дані свідчать, що незалежно від породи деревини та способу подачі повітря концентрація пилу в повітрі робочої зони з відстанню від верстата змінюється за експоненційним законом.

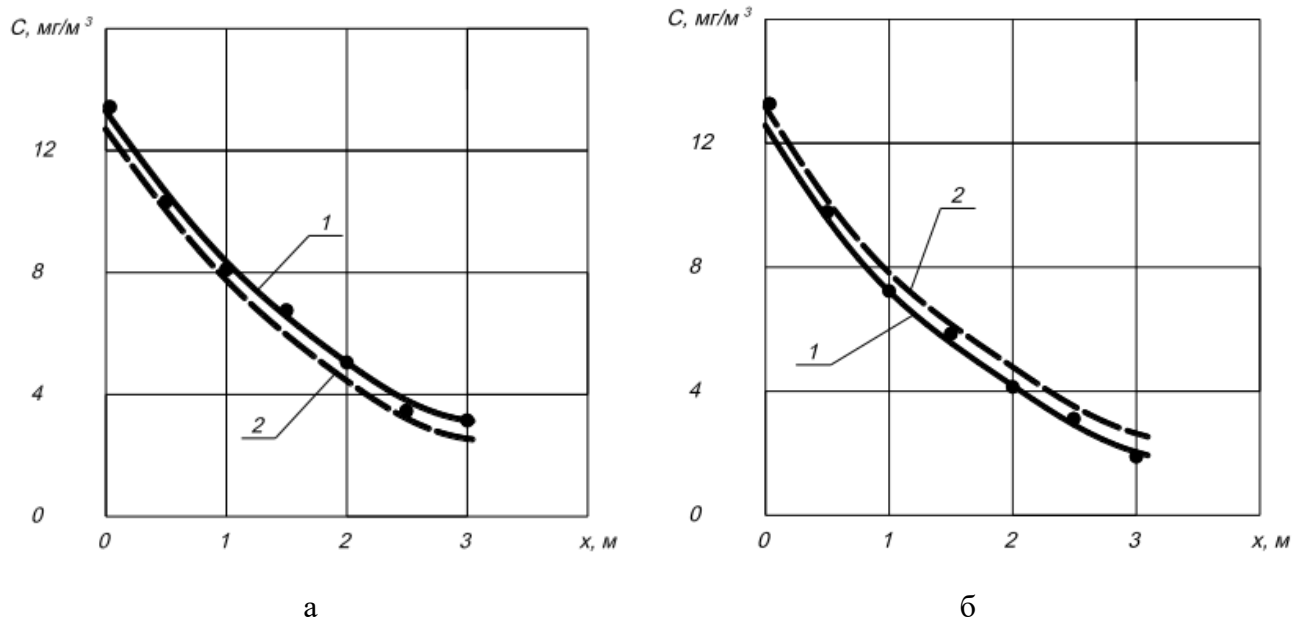


Рис. 4. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопильного верстата для пилу, що утворюється під час обробки сосни:

а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону; 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

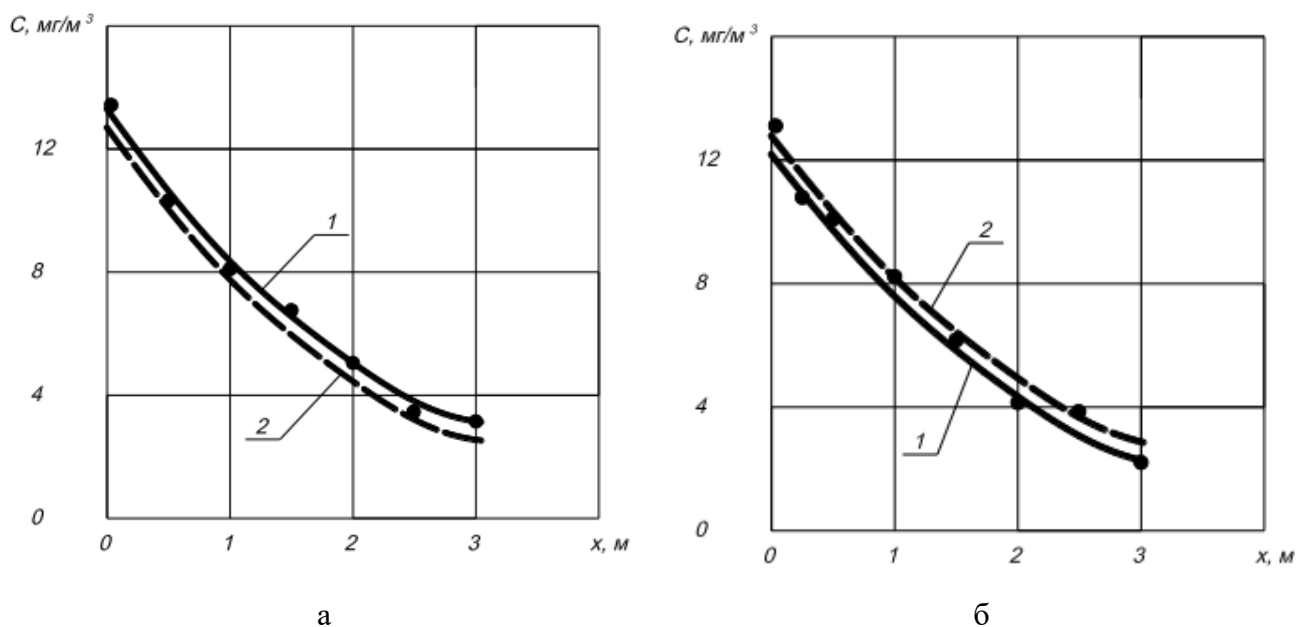


Рис. 5. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопилного верстата для пилу, що утворюється під час обробки ялиці:
а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону. 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

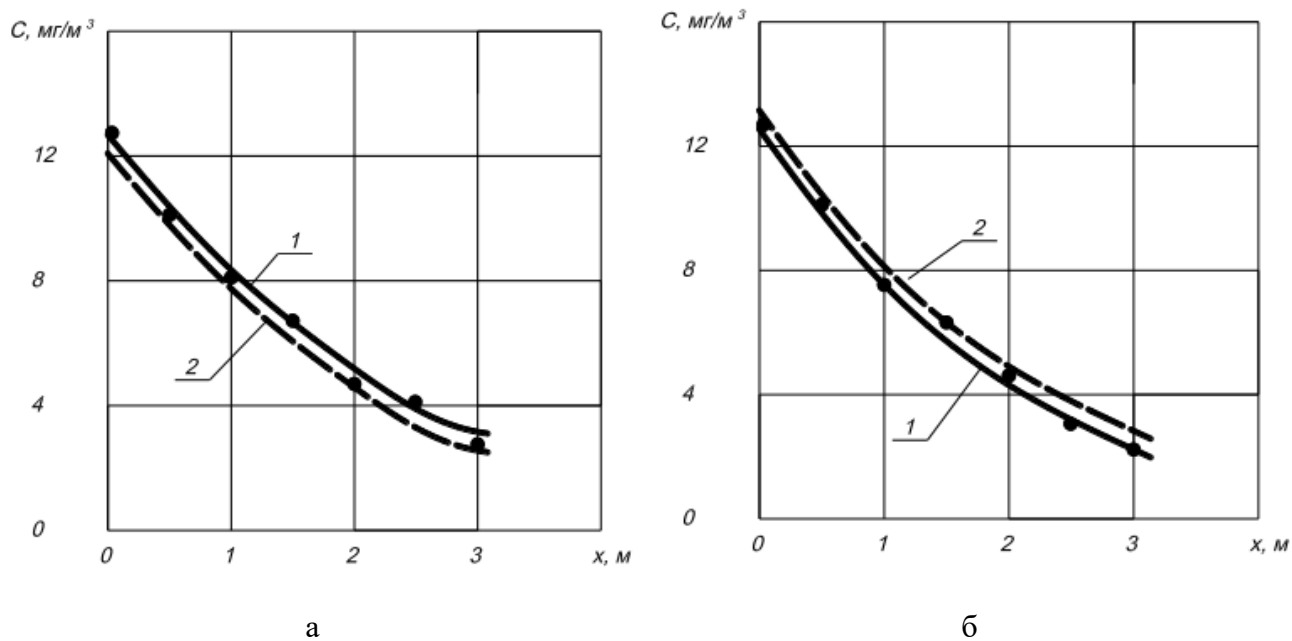


Рис. 6. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопилного верстата для пилу, що утворюється під час обробки липи:
а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону. 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

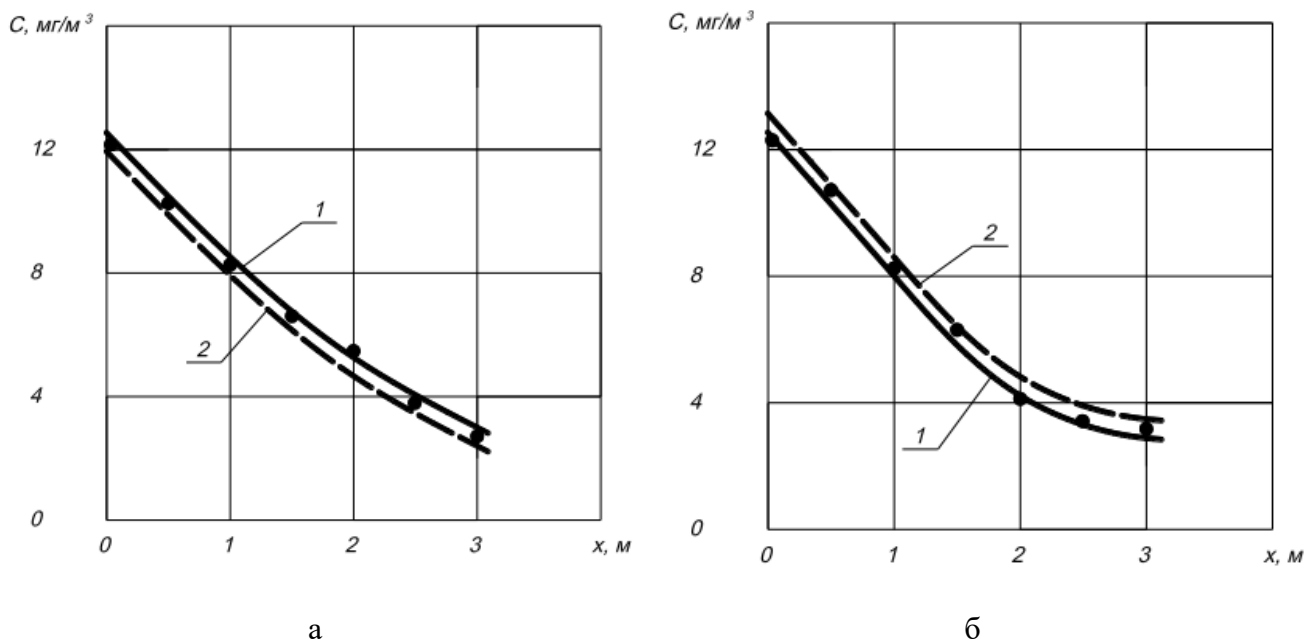


Рис. 7. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопильного верстата для пилу, що утворюється під час обробки буку:
а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону. 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

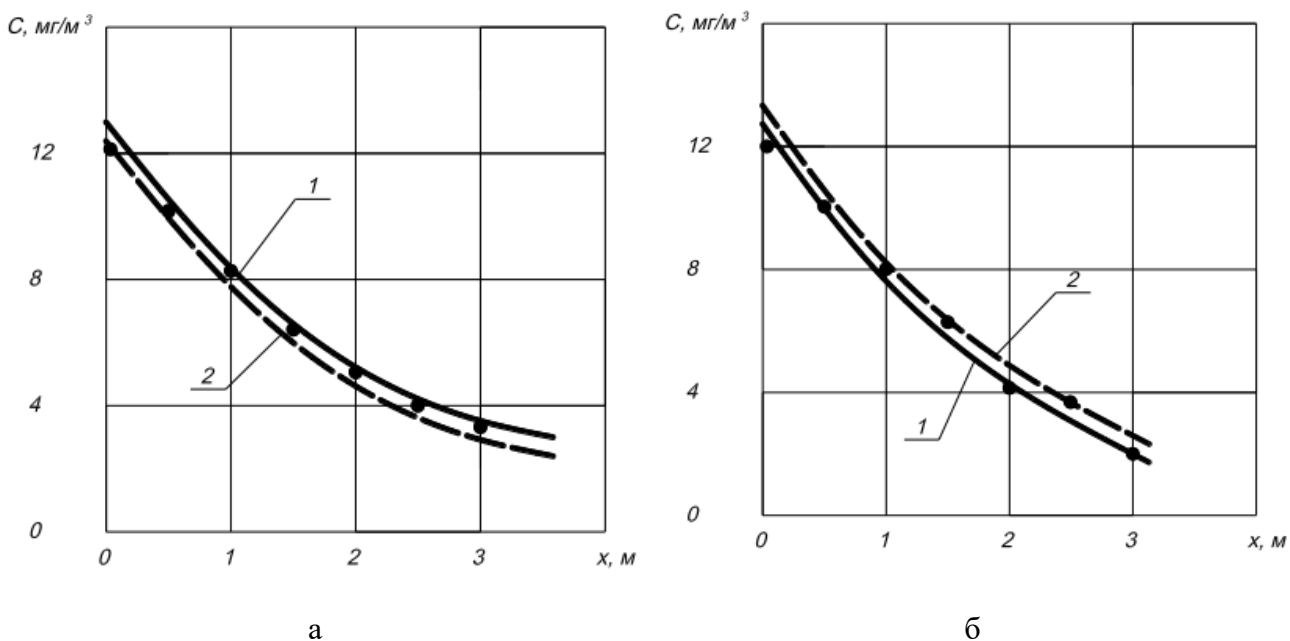


Рис. 8. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопильного верстата для пилу, що утворюється під час обробки дубу:
а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону. 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

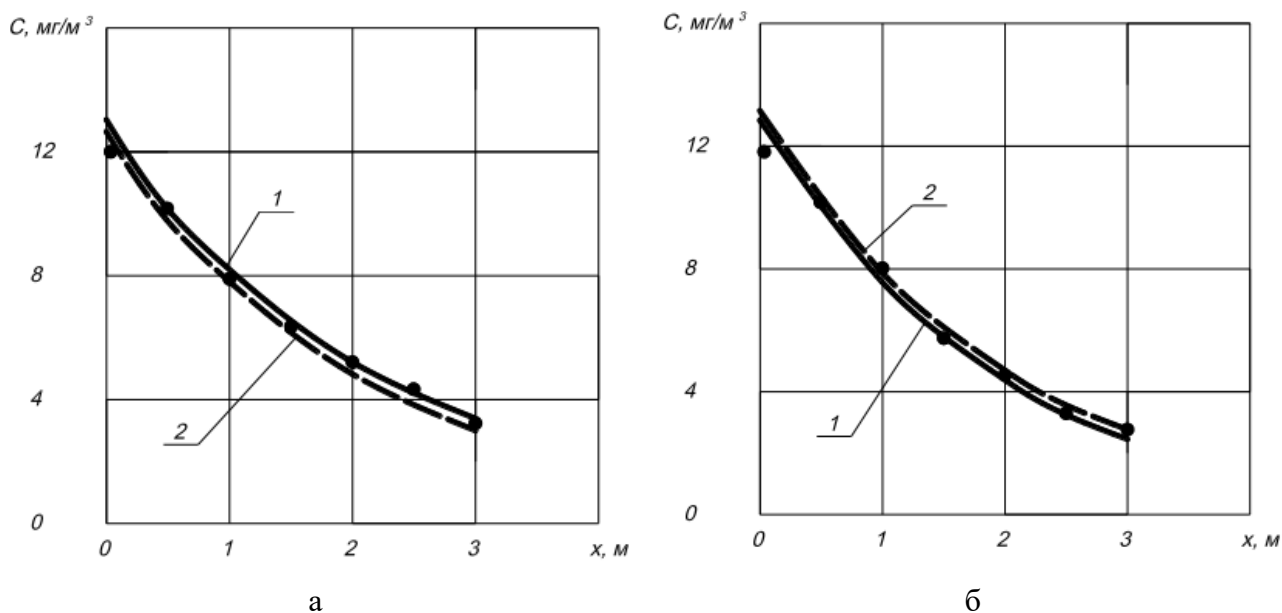


Рис. 9. Зміна концентрації пилу у повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від круглопильного верстата для пилу, що утворюється під час обробки ясеню:
 а – при подачі повітря з висоти до 4-х м; б – під час подачі повітря безпосередньо в робочу зону. 1 – за виразом (3); 2 – за виразом (5)

Результати обробки експериментальних даних показали, що ця зміна апроксимується виразами, що мають вигляд:

при подачі повітря з висоти до 4-х м

$$Cx = 12,9 \exp(-0,457x) \quad (3)$$

при подачі повітря безпосередньо до робочої зони

$$Cx = 12,5 \exp(-0,544x) \quad (4)$$

де x – відстань від верстата до місця проведення вимірів, м.

З великим ступенем точності для прогнозування стану повітряного середовища в робочій зоні під час роботи круглопильного верстата можна скористатися середньою залежністю (рис. 4–9)

$$Cx = 12,7 \exp(-0,501x) \quad (5)$$

Аналогічні залежності отримано і для інших верстатів, характерних для виробництва виробів із деревини.

Обробка експериментальних даних показала, що при роботі одного будь-якого верстата зміна концентрації пилу в повітрі робочої зони на рівні дихання працюючих залежно від відстані від верстата підпорядковується

експоненційному закону та у загальному вигляді може бути виражена залежністю виду

$$Cx = C_{pm} \exp(-ax) \quad (6)$$

де C_{pm} – концентрація пилу в повітрі на робочому місці відповідного верстата, мг/м³.

Значення коефіцієнта a для різних верстатів визначено за результатами натурних експериментальних досліджень та наведені в табл. 4

Таблиця 4

Експериментальні значення коефіцієнта a для верстатів

Назва станків	a
Круглопильні	- 0,501
Стругальні	- 0,638
Фрезерні	- 0,624
Шипорізні	- 0,626
Стрічковопильні	- 0,884
Свердлильні	- 0,936
Шліфувально-стрічкові	- 0,11
Рейсмусові	- 0,286

Дослідження розповсюдження пилу по висоті приміщення проводилися на діючому підприємстві «Песа». Для цього об'єм приміщення розбивався на елементарні об'єми. Довжина та ширина елементарного об'єму відповідають кроку колон, висота – висоті приміщення. На рис. 10 на прикладі цеху, план якого наведено на рис.1, показано таке розділення приміщення.

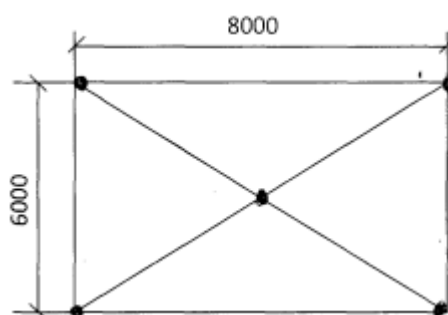


Рис. 10. Схема розміщення вимірних точок в елементарному об'ємі в плані

Відбір проб здійснювався за аналогією до попередніх досліджень, у точках, розташованих у різних частинах приміщення через кожних 0,5 м

висоти. Схему розташування вимірних точок на фронтальній поверхні елементарного об'єму наведено на рис. 11. На бічних поверхнях елементарного об'єму вимірні точки вибирались аналогічно.

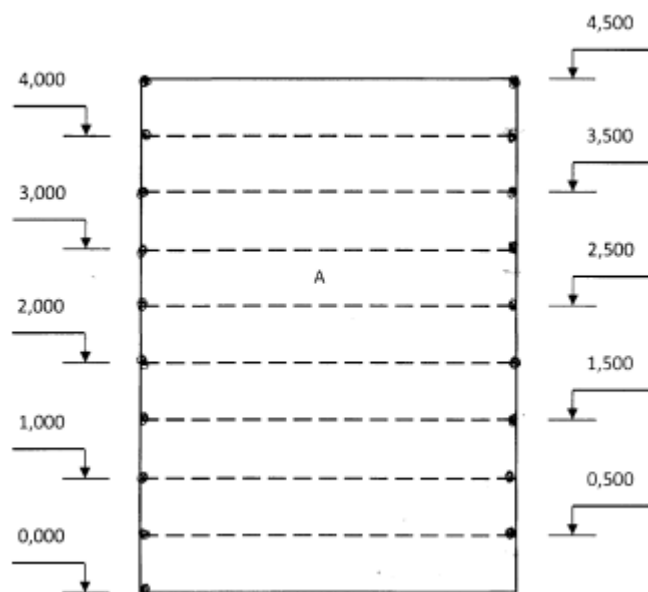


Рис. 11. Схема розміщення вимірних точок на фронтальній поверхні елементарного об'єму

Дослідження проводилися при двох способах подачі свіжого повітря в приміщення, характерних для приміщень, що розглядаються – подача з висоти до 4-х м та подача безпосередньо в робочу зону.

Середні результати досліджень у вигляді графічних залежностей представлені на рис. 12 та 13. При цьому прийнято такі позначення: \bar{h} – висота замірного перерізу, віднесена до висоти приміщення; C_i – концентрація пилу в i -тому замірному перерізі, мг/м³; C – концентрація пилу в повітрі, що видаляється в атмосферу з верхньої зони приміщення, мг/м³.

На рис. 12 показано зміну концентрації пилу за висотою цеху при подачі повітря безпосередньо у робочу зону.

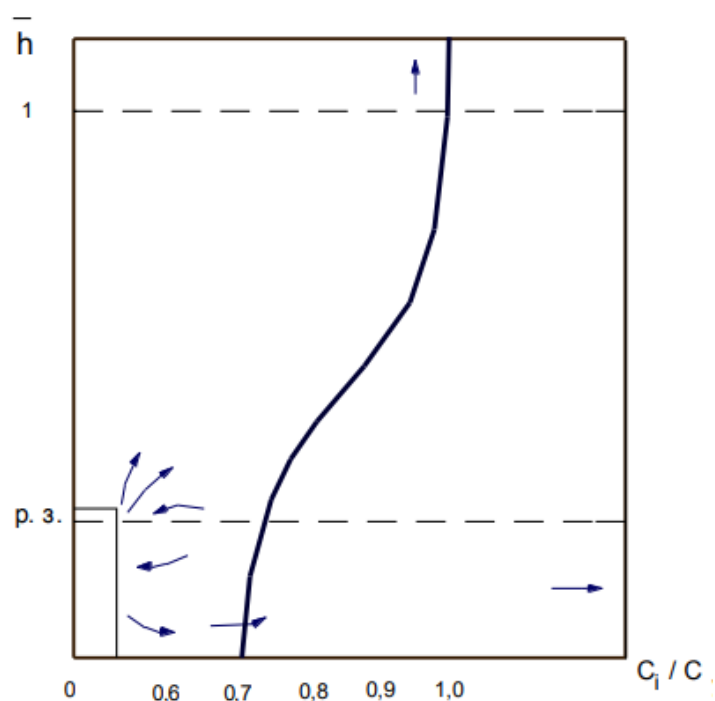


Рис. 12. Зміна концентрації пилу за висотою цеху при подачі повітря безпосередньо у робочу зону

У цьому випадку відбувається витіснення відпрацьованого повітря із робочої зони та виключається залучення до циркуляції забрудненого повітря з верхньої зони приміщення. Водночас відзначається поступове зростання запиленості повітря за межами робочої зони, та в атмосферу загальнообмінними системами вентиляції викидається повітря з великим вмістом пилу, ніж у робочій зоні.

На рис. 13 показано зміну концентрації пилу за висотою цеху при подачі повітря до робочої зони з висоти до 4-х м.

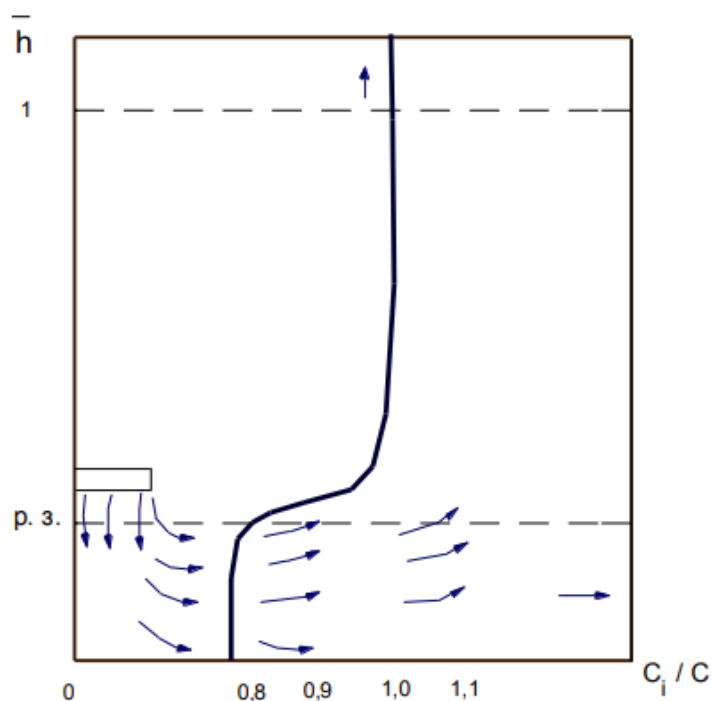


Рис. 13. Зміна концентрації пилу за висотою цеху під час подачі повітря у робочу зону з висоти до 4-х м

Для цього випадку характерно різке зростання концентрації пилу на рівні розташування повітророздавального пристрою. Потім концентрація пилу по висоті цеху залишається практично постійною, але в атмосферу також викидається повітря з більшим вмістом пилу, ніж у робочій зоні.

Дослідження процесів осідання пилу. При експериментальних дослідженнях процесів осідання пилу, що утворюється при механічній обробці деревини, використовувалась методика, описана у роботах (Оскајовá, Кусерка, Кмініак, & Кришт'ák, 2020; Куц, Балабан, Чиж, & Ханик, 2010; Мадані, & Гаркович, 2018). Відповідно до цієї методики визначалася щільність пилеосідання \bar{G}_0 на підлозі виробничого приміщення, тобто маса пилу, що осів на площі 1 м^2 , за одиницю часу.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалися пастки, що мають тарілчасту форму з діаметром 170–200 мм, та виготовлені з листової сталі. Перед початком експериментів в пастках здійснювали спеціальну підготовку, яка проводилася в наступній послідовності: промивання водою; протирання етиловим ректифікованим спиртом; висушування у

сушильній шафі; нанесення на внутрішню поверхню шару фіксатора; зважування; нанесення номера на нижню поверхню (Oskajová, Kucerka, Kminiak, & Krišt'ák, 2020; Куц, Балабан, Чиж & Ханик, 2010; Мадані & Гаркович, 2018). Під час проведення вимірювань пастки встановлювалися на чистих аркушах паперу в цеху відповідно до схем, показаних на рис. 14–16 (Oskajová, Kucerka, Kminiak, & Krišt'ák, 2020; Куц, Балабан, Чиж, & Ханик, 2010; Мадані, & Гаркович, 2018). Виміри проводилися за умови, що працює лише один із обстежуваних верстатів при відключенні решти обладнання.

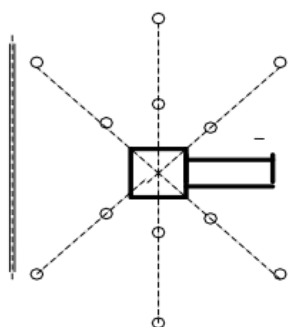


Рис. 14. Приклад розташування пасток для пилу біля одного не стиснутого джерела пиловиділення

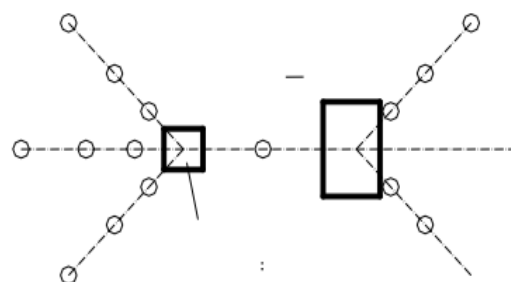


Рис. 15. Приклад розташування пасток для пилу біля двох близько розташованих верстатів

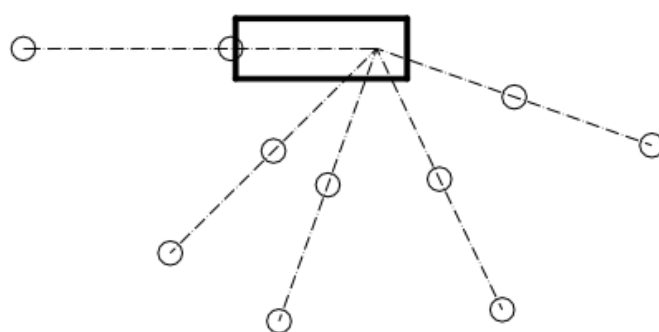


Рис. 16. Розташування пасток для пилу біля одного джерела пиловиділення стисненого стіною

Як приклад отриманих даних на рис. 17 показано графічна залежність, побудована за середніми результатами для різних способів подачі повітря в приміщенні та для пилу різних деревних порід, що характеризує зміну

щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення на різних відстанях від свердлувального верстата.

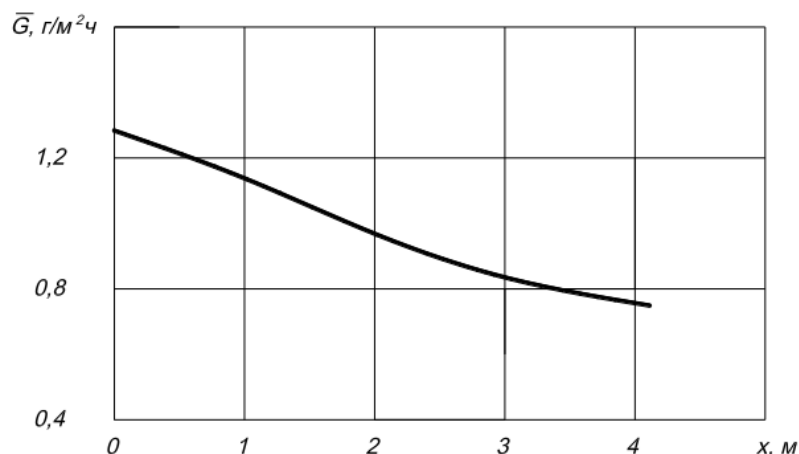


Рис. 17. Середні значення щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення на різних відстанях від свердлувального верстата

Аналогічна залежність для шліфувально-стрічкового верстата наведена на рис. 18.

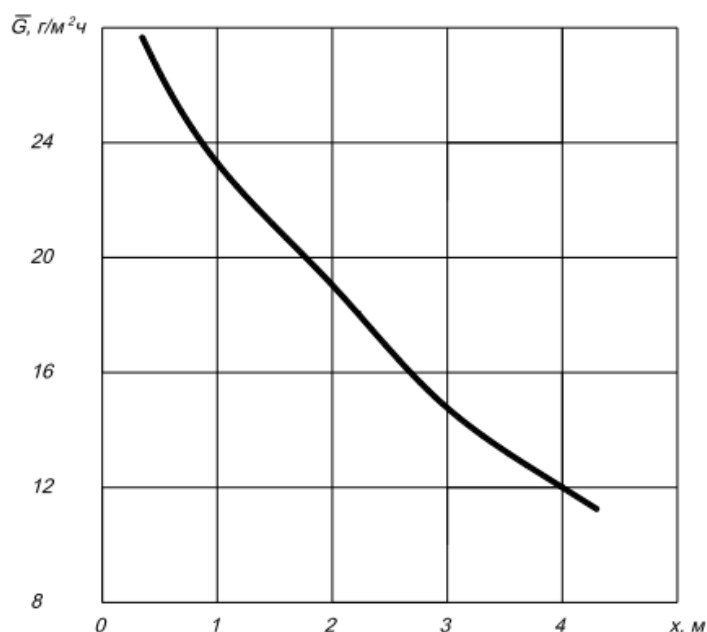


Рис. 18. Середні значення щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення на різних відстанях від шліфувально-стрічкового верстата

Аналіз даних показав, що незалежно від породи деревини та способу подачі повітря зміна щільності пилоосідання з відстанню від верстата підпорядковується експоненційному закону. За результатами обробки

експериментальних даних встановлено, що ця зміна апроксимується виразом виду

$$\bar{G} x = B \exp(-bx) \quad (7)$$

де B , b – постійні, що визначаються експериментально для кожного типу верстата.

Значення коефіцієнтів B і b для різних верстатів визначені за результатами натурних експериментальних досліджень та наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Експериментальні значення коефіцієнтів B і b в експоненційних залежностях, що характеризують зміну щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення з відстанню від різних верстатів

Назва верстатів	B	b
Круглопиліні	13,58	- 0,078
Стругальні	9,18	- 0,22
Фрезерні	9,24	- 0,226
Шипорізні	9,08	- 0,226
Стрічковопиліні	7,94	- 0,038
Свердлильні	1,28	- 0,126
Шліфувально-стрічкові	29,6	- 0,11
Рейсмусові	8,08	0,04

Результати обстеження систем аспірації. При проведенні досліджень з оцінки пилової обстановки на підприємстві було проведено обстеження аспіраційних систем, призначених для знепилювання повітряного середовища виробничих приміщень. Обстеження проходило в кілька етапів і включало: аналіз проектних рішень; візуальне обстеження; визначення аеродинамічних характеристик та запиленості повітряних потоків; зіставлення розрахункових та фактичних значень об'ємів повітря, що відсмоктується від устаткування; перевірку наявності пилових відкладень у повітроводах; визначення загальної ефективності роботи пиловловлюючих пристроїв. Крім того, за даними обстежуваного підприємства встановлювалося число прочисток системи протягом року та кількість відмов апаратів пилоочищення через їх забивання за цей період.

Як приклад отриманих даних, у табл. 6 наведено результати двох із обстежених систем.

Таблиця 6

Результати обстеження систем аспірації В1 та В2

Номер замірного перерізу	Витрата повітря, м ³ /рік		Розбіжність, %	Наявність пилових відкладень	Число чисток в рік	Ефективність пиловловлення, %	Число відмов циклону на рік
	проектна	фактична					
Система В1. Циклон Ц-675					6	87,4	7
1	1300	1182	- 10	+			
2	1360	1276	- 6,6	+			
3	2660	2458	- 8,2	+			
4	1320	1096	- 20,4	+			
5	3980	3554	- 12	+			
Система В2. Циклон Ц-730					11	82,3	4
1	1080	996	- 8,4	+			
2	1680	1574	- 6,7	+			
3	1380	1262	- 9,4	+			
4	2760	2570	- 7,4	+			
5	4140	3832	- 7,9	+			

Система В1 (рис. 19) обслуговує стрічково-пиляльний, рейсмусовий та фрезерний карусельний верстати. Система В2 (рис. 20) призначена для обслуговування фугувальних верстатів різних марок. Обидві системи відносяться до розгалужених, які, як правило, використовуються в цехах або на ділянках з невеликою кількістю верстатів, або у виробничих приміщеннях, де встановлення колекторних систем неможливо через невелику висоту.

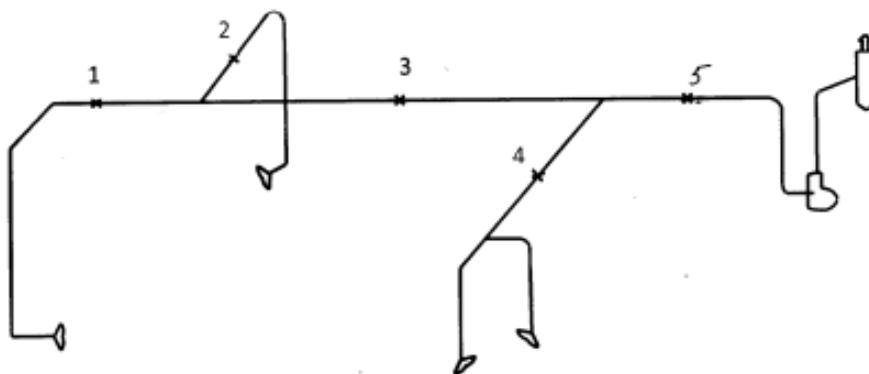


Рис. 19. Схема обстеженої системи В1, (х – замірні перерізи)

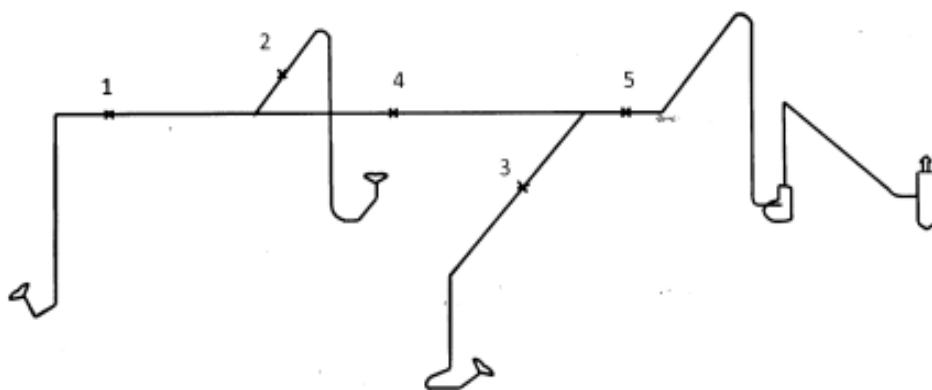


Рис. 20. Схема обстеженої системи В2, (х – замірні перерізи)

Отримані результати показали, що незалежно від частоти проведення очищення повітроводів аспіраційної системи, відзначається наявність відкладень пилу, а зниження об'ємів повітря, що видаляється системою від окремих одиниць обладнання може досягати більш ніж 20 % порівняно із проектними даними. Також слід зазначити низьку ефективність застосовуваних у системах аспірації циклонів та їх часті відмови.

Рішення щодо забезпечення надійності систем аспірації. Як зазначалося вище, підвищена запиленість повітря у робочій зоні деревообробних підприємств багато в чому обумовлена незадовільною та нестійкою роботою аспіраційних систем.

Особливістю розгалужених систем аспірації є наявність горизонтальних ділянок повітроводів, обумовлена 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 (НПАОП 20.0-1.02:2005). 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, внаслідок зносу ріжучого та шліфувального інструменту в повітроводах 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 деревного 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 (Каспрук, Куц, & Ярош, 2001). 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 (рис. 21) (Каспрук, Куц, & Ярош, 2001).

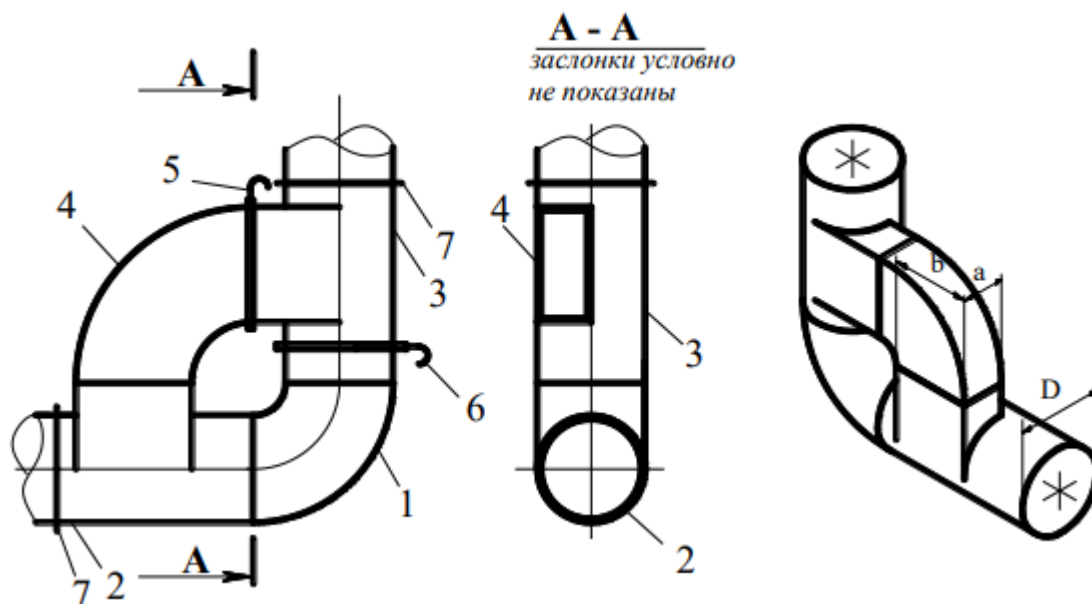


Рис. 21. Тангенціальний відвід-закручувач:

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

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 тангенціальний відвід-закручувач заслінку тангенціального патрубку відкривають, а заслінку аксіального патрубку закривають.

Для характеристики інтенсивності закрутки потоку після тангенціального відводу-закручувача використовується інтегральний параметр Φ^* , значення якого становить (Куц, Балабан, Чиж, & Ханік, 2010)

$$\Phi^* = \pi/4 \cdot D(D - a) / ab \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

де d – діаметр циліндричної частини, мм;

a – ширина перерізу тангенціального введення, мм;

b – висота тангенціального введення, мм;

α – кут між осями тангенціального введення та циліндричного каналу, град.

Дослідження щодо забезпечення безвідмовної роботи систем аспірації на деревообробному підприємстві за допомогою організації закрутки потоку проведені в промислових умовах. Як дослідна установка використана діюча система аспірації, яка призначена для видалення та очищення пилю, 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 аспіраційної системи наведена рис. 22.

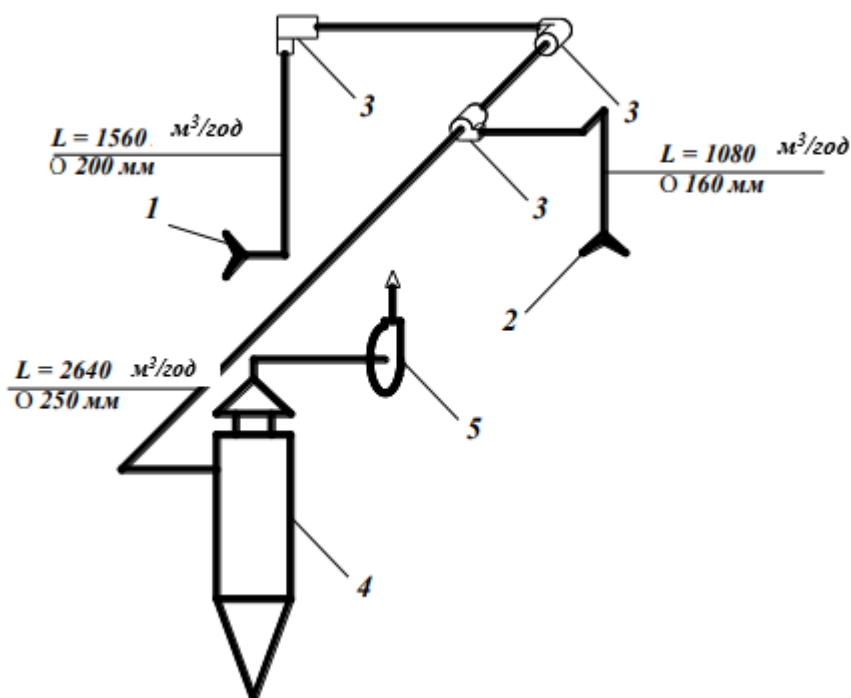


Рис. 22. Схема аспірації В1:

1 – місцевий відсмоктувач від стругального верстата; 2 – місцевий відсмоктувач від фрезерного верстата; 3 – тангенціальний 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 рис. 23 наведено залежності, що характеризують зміну протягом часу (t) сумарного об'єму пилогазової суміші (L), що відводиться від технологічного обладнання цеху, до та після встановлення відводів закручувачів.

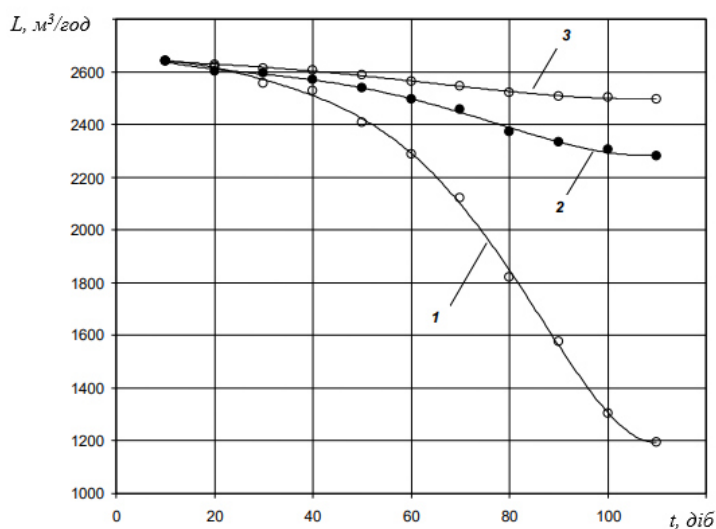


Рис. 23. Зміна витрати пилоповітряної суміші, що відводиться від обладнання: 1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра $\Phi^*=0,8$ та $\Phi^*=1,1$ відповідно

Отримані дані свідчать про те, що через 40 дів роботи системи аспірації зі стандартними відводами зниження об'єму повітря, що переміщується системою, зменшується на 5,3 %, через 60 дів – 13 %, через 80 та 100 дів – вже 30 % та 51 % відповідно. При цьому відбувається підвищення запиленості повітря на робочих місцях верстатників (рис. 24).

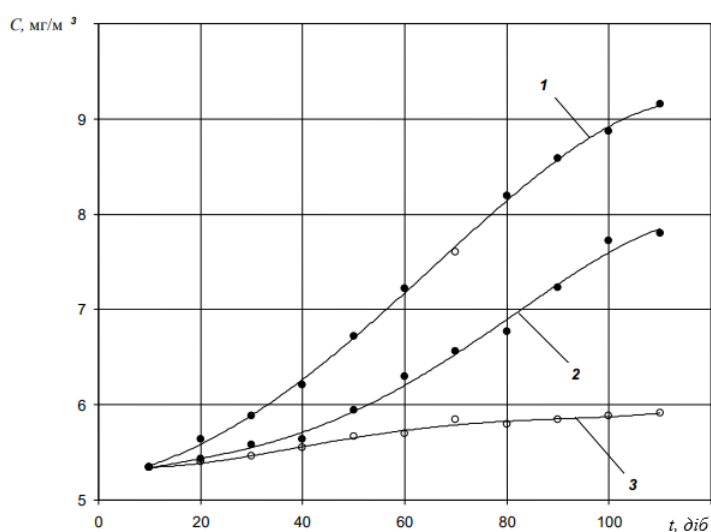


Рис. 24. Зміна концентрації пилу на робочих місцях верстатників: 1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра $\Phi^*=0,8$ та $\Phi^*=1,1$ відповідно

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 $\text{ГДК}_{\text{рз}}$ (рис. 25).

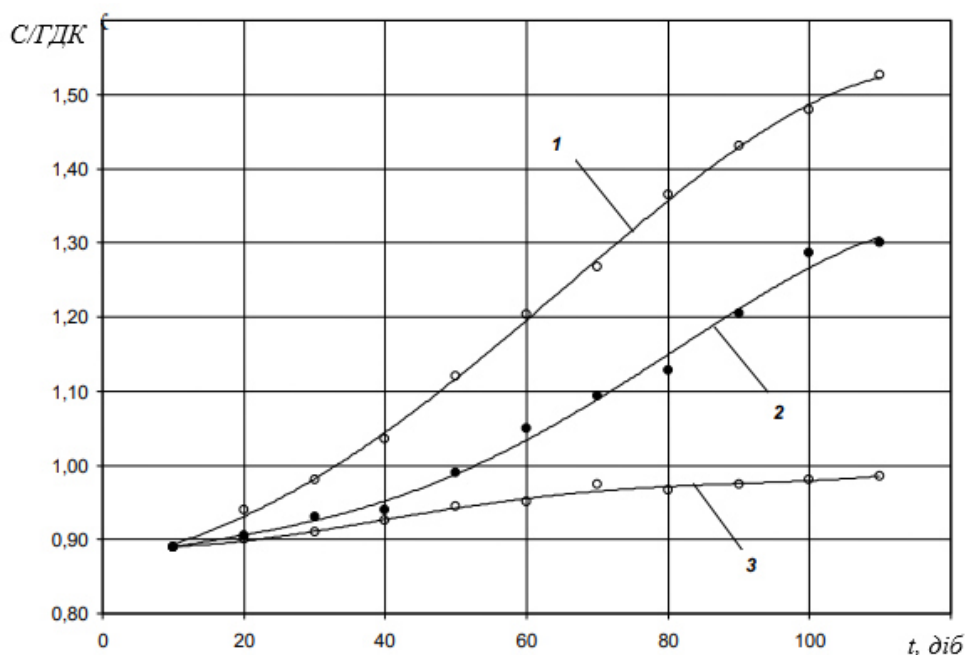


Рис. 25. Зміна відносної концентрації пилу у повітрі робочої зони залежно від тривалості проміжку між очищення мережі повітроводів аспіраційної системи:
1 – при використанні стандартних відводів; 2, 3 – при використанні відводів-закручувачів при значеннях інтегрального параметра $\Phi^*=0,8$ та $\Phi^*=1,1$ відповідно

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 $\text{ГДК}_{\text{рз}}$ (рис. 25). При встановленні тангенціальних відводів-закручувачів з параметром інтенсивності закрутки потоку $\Phi^*=0,8$ відбувається зниження темпу утворення пилових відкладень, про що свідчить більш плавна форма кривої 2 (рис. 23). 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. Відповідно після 100 робочих днів концентрація пилових частинок у повітрі робочої зони становить $7,7 \text{ мг/м}^3$, що відповідає $1,28 \text{ ГДК}_{\text{рз}}$ (рис. 24 і 25). 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 рис. 23. При цьому знижуючись через 80 діб до значення 2450 м³/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 мг/м³ що відповідає значенню 0,98 ГДК_{рз}.

Розробка конструкції апарату пилоочищення для систем аспірації. Для знепилення повітряного середовища виробничих приміщень застосовуються централізовані системи аспірації, ефективність та надійність роботи яких, як відомо, залежить від надійності встановлюваних у них апаратів пилоочищення. Проведений аналіз показав, що очищення викидів в атмосферу від пилу в цих системах здійснюється переважно у циклонах. Однак на деревообробних підприємствах, виділяється не тільки пил від обробки деревини, а й пил від механічної обробки металу, що має високі абразивні властивості, тобто у цьому випадку абразивний знос циклону може призвести до його відмови.

З іншого боку, у багатьох випадках на підприємстві у теплий період року на ділянці механічної обробки деревини організований приплив не здійснюється, і повітря надходить у приміщення через відкриті фрамуги вікон та ворота. Таким чином, запиленість атмосферного повітря на території підприємства матиме суттєвий вплив на концентрацію пилу у повітрі робочої зони. Зниження вмісту пилу в атмосферному повітрі також дозволить знизити витрати на організацію обробки повітря, що подається у виробничі приміщення під час здійснення організованого припливу.

Отже, ефективність апаратів пилоочищення в системах аспірації, що виносяться за межі цехів, опосередковано впливає на стан повітря робочої зони.

З огляду на це з метою забезпечення надійності роботи централізованих систем аспірації, зниження концентрації пилу в атмосферному повітрі на

території підприємства та з урахуванням отриманих даних про осідання та розподілення деревного пилю було запропоновано встановити на підприємстві «Песа» апарати пилоочищення на основі пиловловлювача із зустрічними закрученими потоками (ЗЗП) рис. 26.

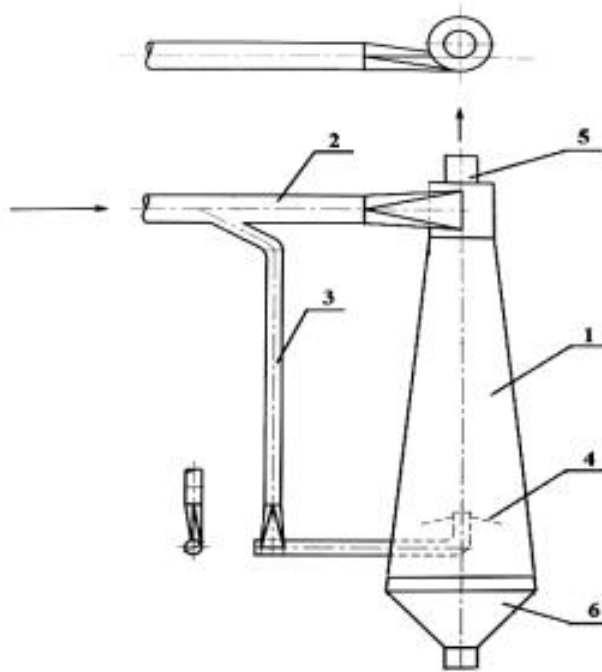


Рис. 26. Схема пиловловлювача ЗЗП з конічною формою сепараційної камери:

- 1 – корпус; 2 – верхній тангенціальний патрубок; 3 – нижній тангенціальний патрубок;
4 – відбійна конічна шайба; 5 – осьовий патрубок; 6 – пиловий бункер

Пилоуловлювач складається з корпусу з конічною сепараційною камерою, верхнього та нижнього тангенціальних патрубків введення очищеного газу, відбійної конусної шайби, осьового вихідного патрубку очищеного газу та пилового бункера. Для зниження абразивного зносу сепараційну камеру, пропонуваного апарату ЗЗП, виконано у формі зрізаного конуса (рис. 26) (Мадані, & Гаркович, 2018; Каспрук, Куц, & Ярош 2001; Козій, 2023). Всі елементи пиловловлювача виконані з листової сталі. Корпус з'єднується з осьовим вихідним патрубком та бункером за допомогою фланцевого з'єднання, що виключає підсмоктування повітря і вибивання пилю. З метою виключення захоплення та винесення осадженого пилю до вихлопної

труби в нижній частині корпусу сепараційної камери встановлено відбійну конічну шайбу.

Пилоуловлювач працює наступним чином: газ, що очищається через верхній та нижній тангенціальні патрубки закручується і надходить у корпус сепараційної камери. Під дією інерційних сил відбувається відділення пилових частинок та їх осадження у пиловий бункер. Очищений газ видаляється через осьовий патрубок.

Експериментальна оцінка ступеня зниження пилових викидів. Для дослідження можливості застосування циклону ЗЗП з метою зниження запиленості повітря робочої зони та викидів в атмосферу була використана експериментальна установка, схема якої наведено рис. 27.

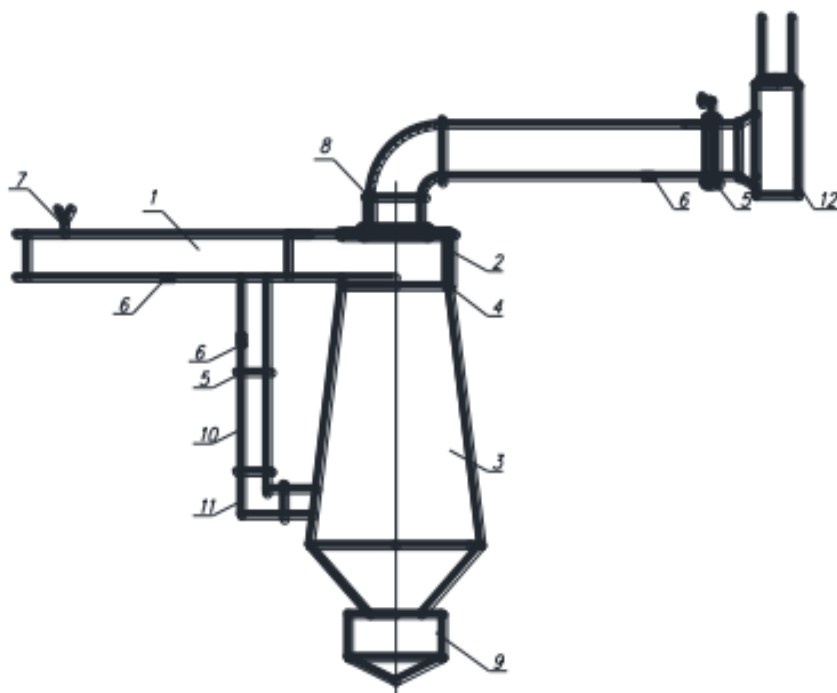


Рис. 27. Схема експериментальної установки:

- 1 – вхідний повітропровід; 2 – верхнє тангенціальне введення; 3 – сепараційна камера;
- 4 – фланцеве з’єднання; 5 – регулювальний шибер; 6 – вимірний штуцер;
- 7 – вузол приготування пилоповітряної суміші; 8 – патрубок очищеного газу;
- 9 – бункер уловленого пилу; 10 – вторинне введення потоку;
- 11 – тангенціальний закручувач вторинного введення; 12 – вентилятор

Основні елементи експериментальної установки: пиловловлювач ЗЗП з сепараційною камерою конічної форми, вузол приготування пилоповітряної суміші, вентилятор. Діаметр верхньої циліндричної частини апарату 200 мм, нижній діаметр сепараційної камери 320 мм, висота циліндричної частини 200 мм; висота конічної частини 500 мм.

Для регулювання витрати повітря, що подається на очищення, та співвідношення витрат пилоповітряної суміші у верхньому та нижньому вводах пиловловлювача використовуються шибери. Для проведення вимірів передбачені штуцери з кришками, що загвинчуються, на верхньому і нижньому повітроводах подачі повітря в апарат та на виході з нього.

Під час проведення експериментальних досліджень виміри проводилися за прийнятими методиками (Мадані, & Гаркович, 2018). Загальна витрата повітря в установці, співвідношення витрат пилогазової суміші у верхньому та нижньому вводах апарату пилоочищення, аеродинамічні характеристики визначалися за величиною тиску, що вимірюються в повітроводах за допомогою диференціального манометра testo 512 у поєднанні з трубкою Піто.

Експериментальні дослідження проводилися у два етапи. На першому етапі експерименту досліджувалась залежність проскоку пилу від витрати повітря, що надходить на очищення, та концентрації пилу в повітряному потоці, що подається на очищення. При цьому витримувалося співвідношення витрат, що подаються на нижній і верхній вводи, що дорівнює 0,27, тобто підтримувалося таке значення цієї величини, за якої забезпечується найбільша ефективність апаратів ЗЗП із традиційною циліндричною формою сепараційної камери (Каспрук, Куц, & Ярош 2001; Козій, 2023; Куц, Балабан, Чиж, & Ханик, 2010).

Результати досліджень щодо оцінки ступеня зниження запиленості повітря, що надходить в атмосферне повітря із систем знепилюючої вентиляції, при використанні циклону ЗЗП наведено у табл. 7, а також у вигляді графічних залежностей виду $\varepsilon = \varepsilon(L, c)$ на рис. 28.

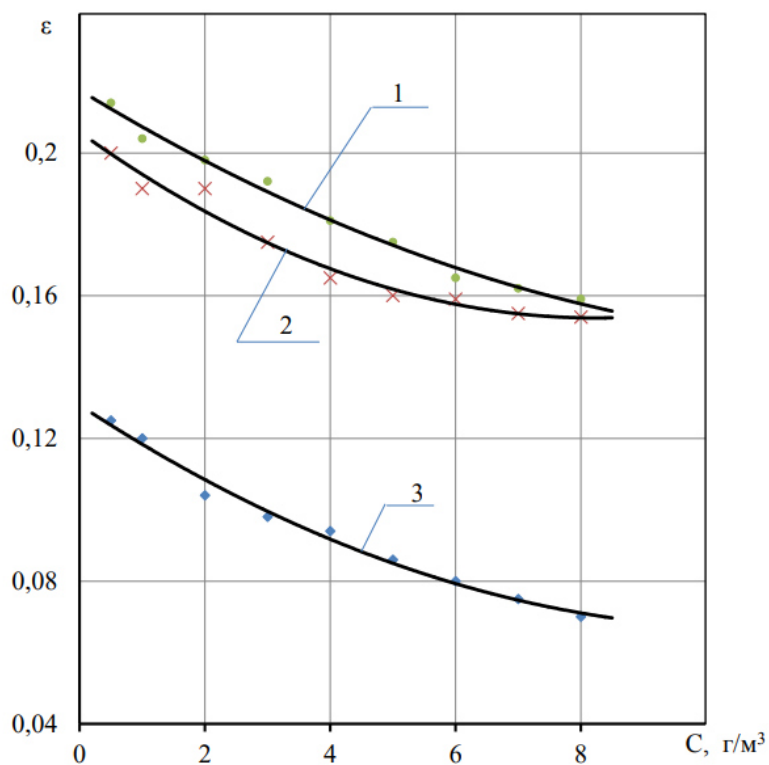


Рис. 28. Зміна проскоку для апарату ЗЗП з кінчною сепараційною камерою залежно від концентрації пилу при витраті повітря: 1 – 400 м³/год; 2 – 500 м³/год; 3 – 600 м³/год

Таблиця 7

Результати експериментальних досліджень

Витрата повітря, що подається в циклон L , м ³ /год	Концентрація пилу у повітрі, що подається до циклону C , г/м ³	Проскок ε
1	2	3
400	0,5	0,217
	1	208
	2	0,197
	3	0,192
	4	0,182
	5	0,174
	6	0,166
	7	0,161
500	8	0,158
	0,5	0,199
	1	0,192
	2	0,189
	3	0,174
	4	0,166
	5	0,159
	6	0,159
7	0,157	
	8	0,157

Продовження таблиці 7

1	2	3
600	0,5	0,126
	1	0,121
	2	0,112
	3	0,108
	4	0,094
	5	0,086
	6	0,080
	7	0,075
	8	0,069

Отримані результати показали, що, як і для пиловловлювачів ЗЗП з циліндричною сепараційною камерою, у разі виконання камери у вигляді усіченого конуса ефективність очищення підвищується зі збільшенням витрати і запиленості повітряного потоку, що подається на очищення.

На етапі експерименту визначалася залежність ступеня зниження пилових викидів від умовної швидкості та співвідношення витрат, що подаються на нижній і верхній вводи апарату. Отримані дані щодо визначення проскоку наведено у табл. 8.

Таблиця 8

Результати експериментальної оцінки проскоку в апараті ЗЗП із сепараційною камерою конічної форми

Витрата повітря, що подається в циклон, м ³ /год	Значення визначальних факторів		Проскок ε
	\bar{V}_y	K_n	
400	3,0	0,10	0,069
		0,25	0,058
		0,40	0,059
500	4,5	0,10	0,058
		0,25	0,048
		0,40	0,049
600	6,0	0,10	0,058
		0,25	0,050
		0,40	0,052

На рис. 29–31 представлені графічні залежності виду $\varepsilon = \varepsilon(\bar{V}_y, K_n)$ при різних значеннях витрати повітря, що подається на очищення в апарат, та

співвідношення витрат повітря, що подається в апарат через нижній та верхній вводи.

\bar{V}_y – умовна швидкість в пиловловлювачі, що визначається за виразом

$\bar{V}_y = L 3600(0,785D^2)$ (де D – діаметр циліндричної частини апарату);

$K_H = L_H/L_B$ – співвідношення витрат повітря, що подається в апарат через нижній та верхній вводи.

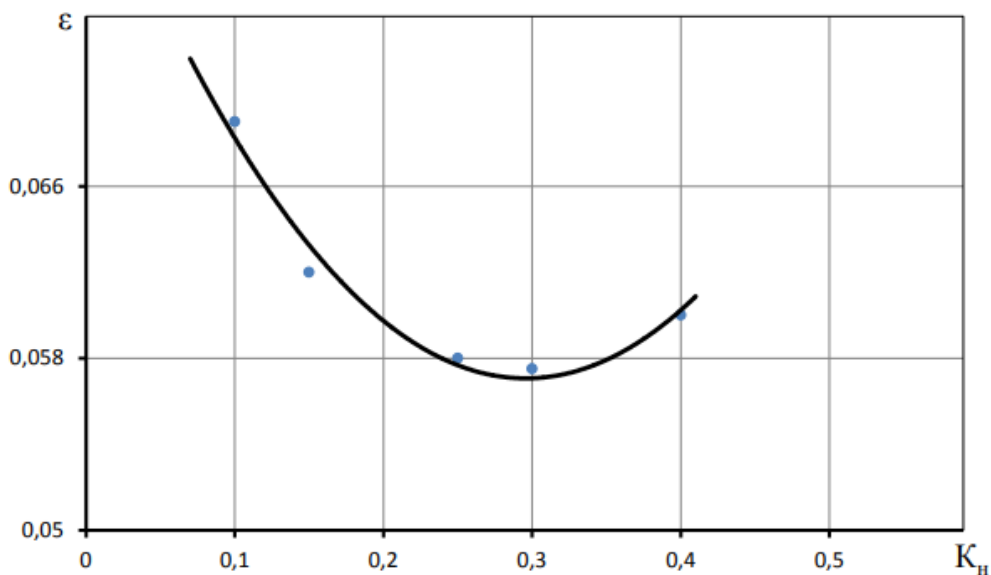


Рис. 29. Залежність проскоку від K_H при $\bar{V}_y = 3$ м/с

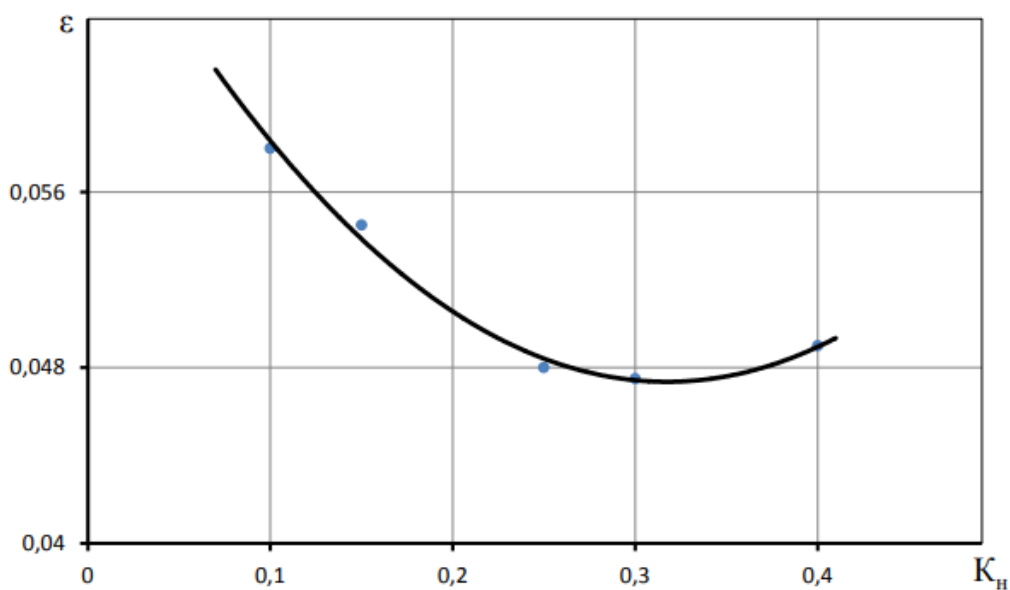


Рис. 30. Залежність проскоку від K_H при $\bar{V}_y = 4,5$ м/с

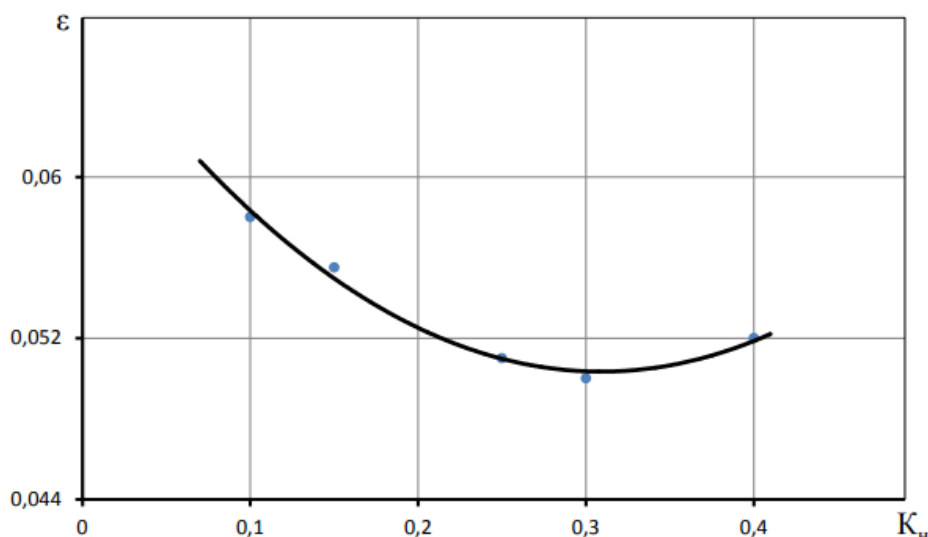


Рис. 31. Залежність проскоку від K_n при $\bar{V}_y = 6$ м/с

Аналіз отриманих даних показав, що найменший проскок пилу в вихровому пиловловлювачі ЗЗП із сепараційною камерою конічної форми досягається при співвідношенні витрат, що подаються на нижній та верхній входи апарата в межах $0,28 \leq K_n \leq 0,35$, тоді як для апаратів ЗЗП з сепараційною камерою традиційної циліндричної форми цей діапазон складає 0,25–0,3. При зменшенні величини K_n до значень менше 0,28 і зі збільшенням K_n вище 0,35 величина проскоку зростає.

Висновки

Робота присвячена вирішенню актуального завдання – забезпеченню безпечних умов праці за пиловим фактором на деревообробних підприємствах. За результатами виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведений аналіз показав, що до шкідливих виробничих факторів, дія яких можлива на працюючих на технологічних процесах деревообробних виробництв 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 $\Gamma ДК_{рз}$ 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 $5,7 \text{ ГДК}_{\text{рз}}$.

2. Встановлено, що основною причиною запиленість повітря робочої зони 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 внаслідок відмов апаратів пилоочищення внаслідок забивання або абразивного зношування.

3. На основі результатів експериментальних досліджень процесів поширення та осідання пилу у виробничих приміщеннях:

– встановлено, що для пилу, що утворюється під час деревообробки, незалежно від породи деревини, зміна запиленості повітря робочої зони та щільності пилоосідання в виробничих приміщеннях на різних відстанях від джерел пиловиділення підпорядковується експоненційному закону;

– отримані експериментальні залежності, що характеризують ці зміни залежно від виду виконуваної технологічної операції.

4. Для забезпечення надійності систем аспірації, призначених для знепилювання повітря робочої зони, 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 запобігати 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.

5. Для забезпечення надійності систем аспірації та зниження запиленості повітря у вентиляційних викидах до атмосфери запропоновано використовувати пиловловлювач із зустрічними закрученими потоками (ЗЗП) з кінечною сепараційною камерою.

Отримано значення проскоку в апараті з ЗЗП. Встановлено, що найменший проскок пилу в вихровому пиловловлювачі ЗЗП досягається при співвідношенні витрат, що подаються на нижній та верхній входи апарата в межах $0,28 \leq K_H \leq 0$.

Список літератури

- Hazir, E., & Кос, К. Н. (2019). Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array-based simulated angling algorithm. *Maderas-Ciencia y Tecnología*, 21, 493–510. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000406>
- Kminiak, R., Kucerka, M., Kristak, L., & Reh, R. (2021). Granulometric characterization of wood dust emission from CNC machining of natural wood and medium density fiberboard. *Forests*, 12(8), 1039–1052. <https://doi.org/10.3390/f12081039>
- Matrat, M. (2019). Occupational exposure to wood dust and risk of lung cancer: The ICARE study. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(12), 901–907. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105802>
- Nasir, V., & Cool, J. (2020). A review on wood machining: Characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. *Wood Material Science & Engineering*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1465465>
- Ockajová, A., Kucerka, M., Kminiak, R., & Krišt'ák, L'. (2020). Occupational exposure to dust produced when milling thermally modified wood. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1478–1493. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051478>
- Батлук, В. А., Василів, Р. М., & Стець, Р. Є. (2012). Підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсних фракцій пилу в системах очистки повітря від пилу деревообробних підприємств. *Промислова гідравліка і пневматика*, 4, 43–49.
- Бехта, П. А. (2003). *Технологія деревинних композиційних матеріалів*. Київ: Основа.

- Боженко, М. Ф. (2019). *Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- Дадак, Ю. Р., & Ляшеник, А. В. (2016). Чинники комплексного вирішення питання екологічної ефективності процесів знепилення на деревообробних підприємствах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(7), 277–284.
- Жуковський, С. С., Возняк, О. Т., Довбуш, О. М., & Люльчак, З. С. (2007). *Вентиляція приміщень*. Львів: Національний університет «Львівська політехніка».
- Каспрук, В. Б., Куц, В. П., & Ярош, Я. Д. (2001). Підвищення ефективності очистки в жалюзійно-вихрових пиловловлювачах. *Промислова гідравліка і пневматика*, 2(8), 74–76.
- Козій, І. С., Рой, І. О., Яхненко, О. М., & Пономаренко, Р. В. (2021). Математично-статистичне дослідження впливу дрібнодисперсних твердих забруднюючих речовин на здоров'я людини. *Техногенно-екологічна безпека*, 10, 23–27.
- Козій, І. С. (2023). Наукові основи системного підходу до зниження техногенного навантаження від промислових викидів на довкілля. (Дис. докт. техн. наук). Сумський державний університет, Суми.
- Кривенко, П. В., Пушкарьова, К. К., Барановський, В. Б., & Кочевих, М. О. (2012). *Будівельне матеріалознавство*. Київ: Ліра-К.
- Куц, В. П., Балабан, С. М., Чиж, В. М., & Ханік, Я. М. (2010). Спосіб очистки газів від тонковолокнистого пилу. *Наукові праці ОНАХТ*, 37, 281–284.
- Мадані, М. М. (2022). Зниження запиленості повітря робочої зони на деревообробних підприємствах. *Техногенно-екологічна безпека*, 11, 68–73. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.10>
- Мадані, М. М., & Гаркович, О. Л. (2018). *Техніка та технології очистки газових викидів*. Одеса: ОНАХТ «Академія».
- Наказ Міністерства охорони здоров'я України №30 від 23.02.2000. (2000). Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів шкідливих

речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць.

Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/>

Правила охорони праці в деревообробній промисловості. НПАОП 20.0-1.02:2005. (2013). Київ: Держстандарт України.

Ратушняк, Г. С. (2002). *Теоретичні основи технології очищення газових викидів*. Вінниця: ВДТУ.

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. (2008). Київ: Держстандарт України.

Старик, В. (2007). Використання відходів деревообробної промисловості у будівельній галузі. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання*, матеріали X студент. наук.-техн. конф., Київ.