

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
на тему:
**Підвищення ефективності пневмотранспортера сипких кормів
нагнітальної дії**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгМ-2-19
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гущин Артем Олександрович

Керівник: _____ Гаврильченко Олександр Степанович

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2020

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

МВІТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гущин Артем Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності пневмотранспортера сипких кормів нагнітальної дії

керівник роботи Гаврильченко Олександр Степанович, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі тваринництва та існуючих засобів транспортування кормів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

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

1. Аналіз сучасного стану проблеми та обґрунтування напрямків досліджень. 2. Теоретичні дослідження процесу переміщення компонентів комбікормів пневмотранспортером. 3. Програма і методика проведення експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень пневмотранспортера компонентів комбікормів. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність використання пневмотранспортера компонентів комбікормів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. Аналіз (4 аркуша, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (4 аркуша, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Гаврильченко О.С., доцент		
2	Гаврильченко О.С., доцент		
3	Гаврильченко О.С., доцент		
4	Гаврильченко О.С., доцент		
5	Кравець В.В., доцент		
6	Вініченко І.І., професор		

7. Дата видачі завдання: 19 травня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	13.06.2020 року	
2	Теоретичний	18.07.2020 року	
3	Експериментальний	19.08.2020 року	
4	Охорона праці	10.10.2020 року	
5	Економічний	14.11.2020 року	
6	Демонстраційна частина	25.11.2020 року	

Студент

_____ Гущин А.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Гаврильченко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

Гущин А.О. Підвищення ефективності пневмотранспортера сипких кормів нагнітальної дії. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). ДДАЕУ, Дніпро, 2020.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. Аналіз стану питання дав змогу обґрунтувати напрямки вирішення поставленої мети та задач. В другому розділі проведено теоретичні дослідження технологічного процесу транспортування сипких кормів. В результаті експериментальних досліджень встановлено зміни швидкості повітряного потоку і статичного тиску пневмотранспортера по довжині трубопроводу під час транспортування різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: сипкі корми, транспортування, повітря, параметри, дослідження, ефективність

ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Лінія приготування комбікормів.....	9
1.2 Аналіз фізичних властивостей зернових мас	11
1.3 Загальні відомості про пневматичний транспорт.....	14
1.4 Класифікація установок пневмотранспорту	15
1.5 Вузли та обладнання установок пневмотранспорту	17
1.6 Аналіз технологічних схем установок пневматичного транспорту	20
1.7 Висновки з розділу	26
1.8 Мета і завдання досліджень	27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРОМ	29
2.1 Основи теорії пневмотранспортування нагнітальними пневмотранспортними установками	29
2.2 Аналіз руху потоку повітря та сипкого матеріалу в трубі пневмотранспортера	32
2.3 Аналіз чинників, які впливають на рух матеріалу в пневмотранспорті	35
2.4 Втрати тиску в транспортній трубі	38
2.5 Методика розрахунку установок пневмотранспорту	43
2.6 Розрахунок нагнітальної установки	45
2.7 Основні характеристики відцентрових вентиляторів	46
2.8 Висновки з розділу.....	49
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	51
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	51
3.2 Опис експериментальної установки	51
3.3 Методика знімання характеристики вентилятора	54
3.4 Методика визначення концентрації суміші в трубопроводі	

транспортера	56
3.5 Методика визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі	57
3.6 Висновки з розділу.....	59
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ	60
4.1 Результати визначення продуктивності дозуючого пристрою	60
4.2 Результати визначення концентрації суміші в трубопроводі транспортера	61
4.3 Результати визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі	62
4.4 Висновки з розділу.....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
5.1 Поняття охорони праці і аналіз можливих чинників аварійних ситуацій	68
5.2 Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	69
5.3 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час транспортування зерна пневмотранспортером	70
5.4 Розробка заходів по запобіганню аварій і травм в процесі транспортування зерна	73
5.5 Висновки з розділу.....	78
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ	79
6.1 Технічна характеристика порівнюваних машин	79
6.2 Методика розрахунку показників економічної ефективності	79
6.3 Порівняльний аналіз транспортерів	82
6.4 Висновки з розділу.....	83
ВИСНОВКИ	84
Список використаних джерел	87
Додатки	93

ВСТУП

В структурі витрат на виробництво свинини вартість кормів сягає 80 %, яловичини — 70–75 %, молока — 40–45 %. Очевидно, що за такої структури собівартості забезпечення ефективного перетворення корму у продукцію є основою рентабельного виробництва.

Однією з основних причин відставання у продуктивності сільськогосподарських тварин в Україні від розвинутих країн є відносно низька забезпеченість кормами разом із проблемою дефіциту білка у раціонах годівлі. Ситуація з організацією годівлі тварин у дрібних господарствах зазвичай перебуває на нижчому рівні, ніж у сільськогосподарських підприємствах. Тому на сьогодні дрібнотоварне виробництво продукції тваринництва має практично нульову рентабельність або є збитковим.

Так, при відгодівлі свиней у дрібних господарствах на 1 ц приросту витрачається в середньому 9,1 ц кормових одиниць проти 6,4 ц, передбачених нормативами, хоча і ця цифра є завищеною. Перевитрати кормів пояснюються нерівномірністю годівлі та низькою поживністю раціонів, особливо в період інтенсивного приросту тварин. Для годівлі молодняку свиней спочатку використовуються різні харчові відходи, збиране молоко, полову, а в літній період — зелену масу бур'янів та городніх культур, і лише на заключній стадії згодовуються в основному концентровані корми. Проте, якщо забезпечити приготування якісних консервованих кормів для годівлі великої рогатої худоби в дрібних господарствах без їх кооперації практично неможливо, то приготування повнораціонних збалансованих комбікормів є здійсненням завданням.

Ефективність використання кормів збільшується при згодовуванні їх у вигляді кормосумішей. Витрати на приготування кормосумішей не перевищують 3–5 % витрат виробництва, але забезпечують збільшення продуктивності тварин на 9–17 %. Тому підвищення ефективності приготування комбікорму є актуальною задачею.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Лінія приготування комбікормів

В загальному вигляді процес приготування корму в умовах господарств складається з операцій транспортування, подрібнення, дозування, змішування та, можливо, екструдуювання зернових компонентів і гранулювання готової кормо суміші (рис. 1.1).

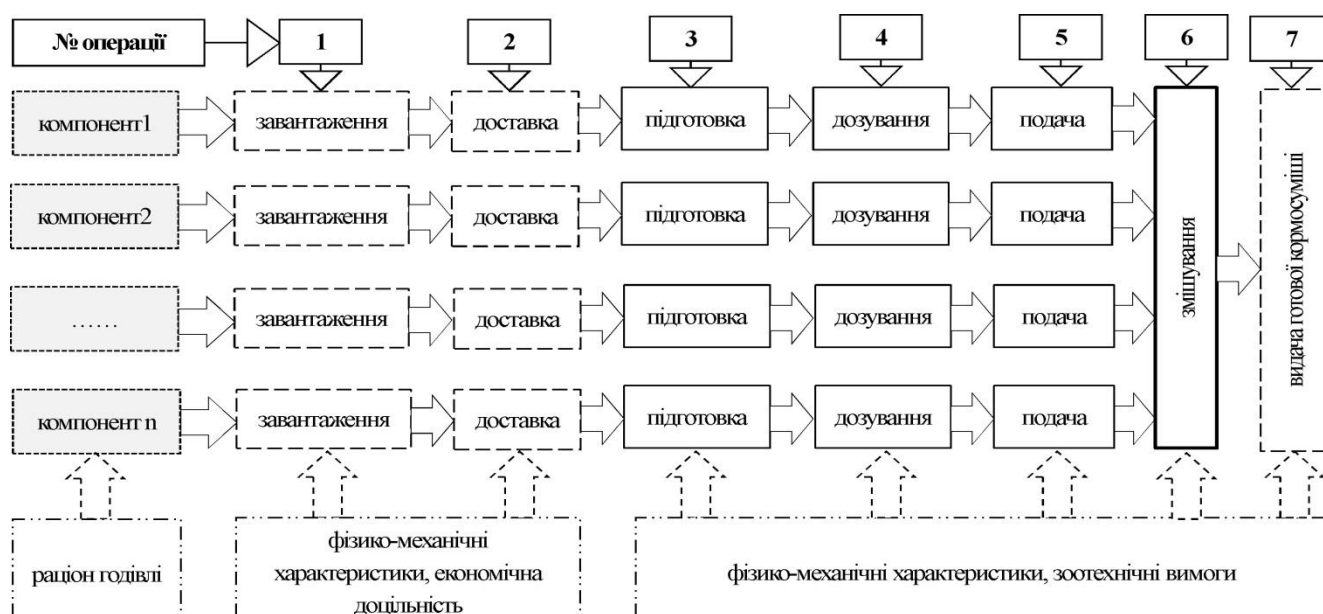


Рисунок 1.1 – Технологічна схема лінії приготування кормів

Обладнання для приготування комбікормів можна розділити на дві групи – комбікормові заводи з розвиненим технологічним циклом та комбікормові заводи (агрегати) зі скороченим технологічним циклом.

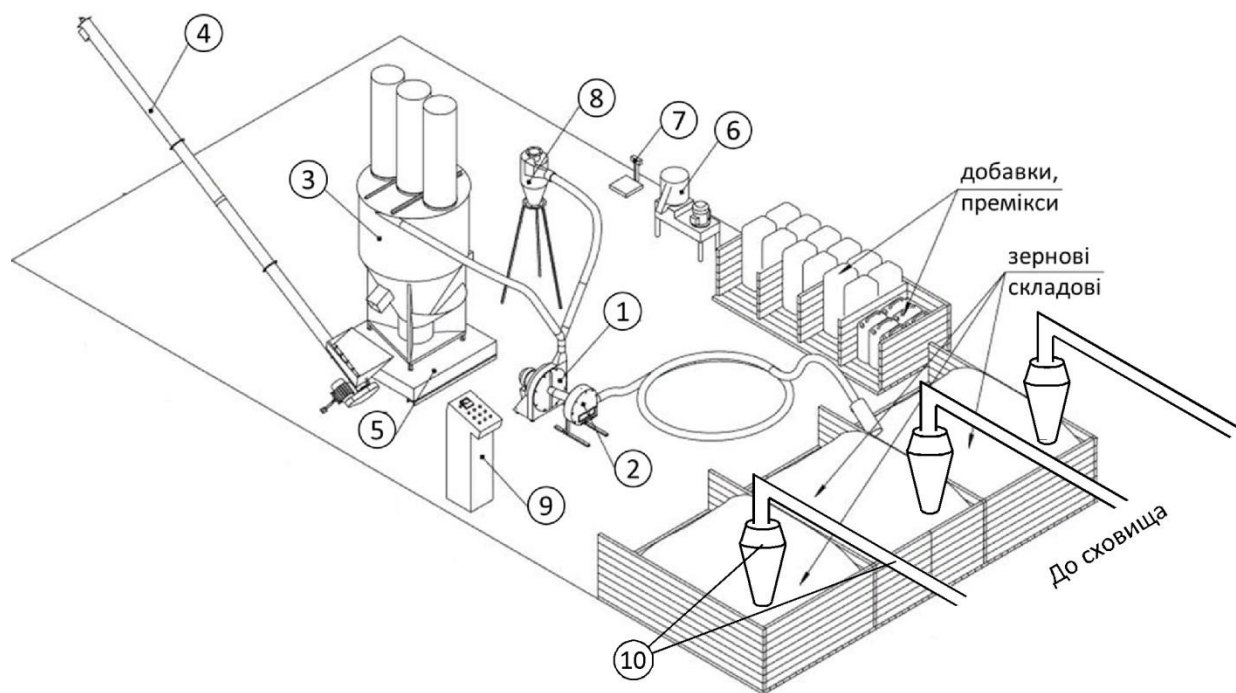
Перші забезпечують виробництво білково-вітамінних (БВД) і білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД), повнораціонних комбікормів для великих промислових споживачів.

Комбікормові заводи зі скороченим технологічним циклом виготовляють повнораціонні комбікорми і комбікорми-концентрати на основі зернової

сировини, кормових відходів переробних виробництв (макуха і шроти олійних культур, висівки пшеничні та ін.) та БВД або БВМД.

Саме до цього типу можна віднести малогабаритні комбікормові установки (МКУ), які можуть використовуватись для приготування комбікорму безпосередньо на фермі.

Сьогодні сучасне кормоприготувальне відділення на фермі можна представити схемою, яка приведена на рисунку 1.2. Основними елементами його є дробарка молоткова, сепаратор, основний змішувач, відвантажувальний шнековий транспортер, лопатевий змішувач для попереднього змішування, циклон і лінія транспортування компонентів комбікорму зі сховищ. Основними компонентами комбікорму є зернові складові (кукурудза, пшениця, ячмінь, овес) і добавки, премікси.



- 1 – дробарка молоткова; 2 – сепаратор; 3 – основний змішувач;
4 – відвантажувальний шнековий транспортер; 5 – електронні або механічні ваги ; 6 – лопатевий змішувач для попереднього змішування;
7 – електронні або механічні ваги; 8 – циклон; 9 – пульт керування;
10 – лінія транспортування зернових складових

Рисунок 1.2 – Схема компонування кормоприготувального відділення

Згідно представленої схеми удосконалення технічного забезпечення потребує саме лінія транспортування зернових складових, так як основною задачею якої є переміщення зерна на відстані 10-30 м. Тому в подальшому і будемо розглядати даний етап процесу приготування комбікорму.

1.2 Аналіз фізичних властивостей зернових мас

Зернова маса має певні фізичні властивості – сипкість, самосортування, шпаруватість, здатність до сорбції та десорбції різних парів і газів (сорбційна ємність), тепло-, температуро- і термовологопровідність, теплоємність. Знання і врахування фізичних властивостей зернових мас набувають особливого значення у зв'язку з механізацією й автоматизацією процесів обробки зерна, застосуванням пневматичного транспорту та зберіганням значних партій його у великих сховищах (силосах, сучасних елеваторів, металевих бункерах, на складах).

Сипкість – це здатність зерна і зернової маси переміщуватися по поверхні, розміщеній під певним кутом до горизонту.

Сипкість зернової маси характеризується кутом тертя, або кутом природного схилу.

Кут тертя – найменший кут між основою і схилом насипу, за якого зернова маса починає ковзати по поверхні. При ковзанні зерна по зерну його називають кутом природного схилу, або кутом скочування (табл. 1.1).

Найбільшу сипкість і найменший кут схилу мають маси насіння кулястої форми (гороху, проса, люпину). Чим більше форма зерен відрізняється від кулястої і чим шорсткуватіша їх поверхня, тим менша сипкість зернової маси. Зерна продовгуваті, тонкі, з квітковими плівками (рисусирцю, окремих сортів вівса, ячменю та ін.) також менш сипкі.

Самосортування – це властивість зернової маси втрачати свою однорідність під час переміщення і вільного падіння. Вона зумовлюється сипкістю зернової маси і неоднорідністю твердих часточок, що входять до її складу.

Таблиця 1.1 – Кути природного відкосу для насіння різних культур

Культура	Кут ухилу, градусів	Культура	Кут ухилу, градусів
Пшениця	23 – 28	Горох	24 – 31
Жито	23 – 28	Соя	25 – 32
Ячмінь	28 – 45	Вика	28 – 33
Кукурудза	30 – 40	Кормові боби	29 – 35
Соняшник	31 – 45	Сочевиця	25 – 32
Рис	27 – 48	Льон	27 – 34
Овес	31 – 54	Рицина	34 – 46

Шпаруватість зернової маси – це наявність проміжків між її твердими часточками, заповнених повітрям.

Таблиця 1.2 – Обємна маса і шпаруватість зерна різних культур

Культура	Маса 1 м ³ , кг	Шпаруватість, %
Пшениця	730 – 840	35 – 45
Жито	680 – 750	35 – 45
Ячмінь	580 – 700	45 – 55
Овес	400 – 550	50 – 70
Гречка	560 – 650	50 – 60
Просо	680 – 730	30 – 50
Кукурудза	680 – 820	35 – 55
Горох, люпин	750 – 800	40– 45
Рис (нерешетований)	440 – 550	50– 65
Соняшник олійний	400 – 550	50– 65
Льон	580 – 680	35– 45
Конюшина червона	780 – 850	30– 30

Шпаруватість зерна S визначають за формулою

$$S = \frac{V_1 - V}{V_1} \cdot 100, \quad (1.1)$$

де V_1 – загальний об’єм зернової маси, м³;

V – дійсний об’єм твердих часточок зернової маси.

Знаючи об’єм, який займає зернова маса, та показник її шпаруватості, можна визначити об’єм повітря у шпаринах.

Сорбційні властивості зернової маси – це її здатність поглинати (сорбувати)

з навколишнього середовища пару, запахи різних речовин і газів, а також виділяти (десорбувати) їх.

Гігроскопічність зернової маси означає її здатність поглинати пару води з повітря або виділяти її в навколишнє середовище.

Вологість зерна, яка відповідає стану рівноваги, називають рівноважною вологістю. Остання залежить від його сорбційних властивостей (структури, хімічного складу) та від вологості й температури повітря (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Відносна вологість зерна різних культур, %

Культура	Відносна вологість повітря,%							
	75				80			
	Температура повітря, °С							
	0	10	20	30	0	10	20	30
Пшениця	15,8	15,5	15,1	14,8	16,7	16,3	16,0	15,7
Жито, ячмінь	17,0	16,7	16,3	15,4	18,3	17,9	17,4	16,5
Овес	16,6	16,1	15,6	15,0	17,9	17,3	16,8	16,2
Рис	15,5	15,0	14,5	13,9	16,6	15,9	15,2	14,7
Кукурудза	16,6	16,3	15,9	14,9	17,6	17,3	16,9	15,9
Просо	16,1	15,6	15,1	14,4	17,1	16,6	15,9	15,3
Горох	16,8	16,5	16,1	15,8	17,7	17,3	17,0	16,7
Соя	14,0	13,6	13,1	12,5	16,2	15,7	15,3	14,5
Соняшник	8,9	8,5	8,2	7,6	9,5	9,3	9,1	8,5

Визначають відносну й абсолютну вологість зерна (у відсотках). Відносна вологість зерна W_B – це відношення маси вологи, яка міститься в зерні (m_B), до маси води і сухої речовини $m_B + m_C$. Для її розрахунку користуються формулою:

$$W_B = \frac{m_B}{m_B + m_C} \cdot 100, \quad (1.2)$$

Абсолютна вологість зерна W_a – це відношення маси m_B вологи до маси сухого матеріалу (m_C):

$$W_a = \frac{m_B}{m_C} \cdot 100, \quad (1.3)$$

1.3 Загальні відомості про пневматичний транспорт

У сільськогосподарському виробництві пневматичні установки використовуються для транспортування зерна та продуктів його переробки (рис. 1.3–1.4).

На підприємствах зернопереробного виробництва застосовується магістральний пневмотранспорт для переміщення зерна, муки і відсівів між цехами на відстані від 50 до 1500 м. Звичайна продуктивність пневмотранспортних установок – кілька десятків тонн на годину. У деяких випадках – до 100 т/год і більше.

До переваг установок пневмотранспорту відносяться: герметичність системи; відсутність втрат вантажу; запобігання впливу на нього зовнішнього середовища; можливість переміщення вантажів по складній трасі з горизонтальними, похилими і вертикальними ділянками; зосередженість машинного обладнання в одному місці, що виключає догляд за установкою по всій трасі; пристосованість до складних місцевих умов будинків і споруд; переміщення вантажів з декількох місць в одне або з одного місця в кілька, а також поєднання переміщення вантажу з технологічними процесами; транспортування без участі людини.

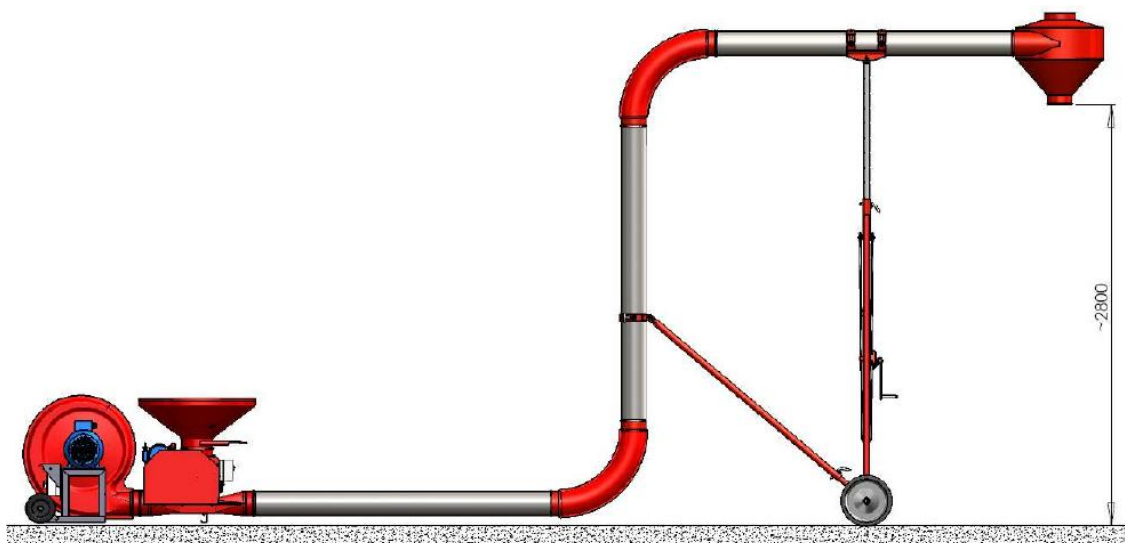


Рисунок 1.3 – Приклад нагнітальної системи пневмотранспорту



Рисунок 1.4 – Приклад всмоктувально-нагнітальної системи пневмотранспорту

До основних недоліків пневмотранспорту можна віднести: високі питомі витрати енергії (через порівняно низького ККД вентиляторів і виносу тепла з приміщення разом з робочим повітрям доводиться додатково витратити енергію на опалення); інтенсивне спрацювання трубопроводів (особливо в місцях поворотів); неможливість транспортування вантажів з розмірами понад 80 мм; неможливість транспортування вологих і липких матеріалів; складність відділення пилоподібних матеріалів від потоку повітря в кінці транспортування.

1.4 Класифікація установок пневмотранспорту

Пневмотранспортні установки розрізняють за способом створення повітряного потоку і величиною його тиску в системі трубопроводів, а також за функціональними ознаками.

Залежно від тиску повітря в системі, пневмотранспортних установок, розрізняють установки низького, середнього і високого тиску.

В установках низького тиску різниця тисків, під дією якої виникає повітряний потік, не перевищує 5кПа, в установках середнього тиску ця різниця

лежить в межах від 5 до 10 кПа, установки високого тиску працюють при різниці тисків від 10 кПа і вище. Найбільшого поширення набули пневмотранспортні установки низького тиску завдяки їх простоті, надійності і невисокої вартості.

Залежно від способу створення повітряного потоку розрізняють пневмотранспортні установки:

- всмоктувальні, які працюють розрідженим повітрям;
- нагнітальні, які працюють напірним повітрям;
- всмоктувально-нагнітальні, що складаються з всмоктувальної і нагнітальної систем, що працюють від одного вентилятора.

Усмоктувальні установки застосовуються для переміщення сипучих матеріалів з одного або декількох приймальних пунктів в один (цехові пневмотранспортні установки).

Нагнітальні пневмотранспортні установки відрізняються від всмоктуючих тим, що тиск в повітроводі біля них вище атмосферного. Вони зазвичай застосовуються для транспортування сипучих матеріалів з одного пункту в один або кілька інших пунктів.

Найбільшого поширення набули всмоктувально-нагнітальні пневмотранспортні установки. Вони володіють позитивними якостями всмоктувальної і нагнітальної установок, так як вона може транспортувати сипучий матеріал з одного або декількох пунктів в один або кілька пунктів.

За функціональною ознакою пневмотранспортні установки поділяються на такі два типи:

1. Аспіраційні (цехові) установки, розташовуються усередині виробничих приміщень і призначені для видалення сипучих відходів за межі цеху. Такі установки працюють при тиску повітря в системі до 5 кПа, тобто є установками низького тиску і можуть бути всмоктувальними і всмоктувально-нагнітальними;

2. Транспортні установки, забезпечують тільки переміщення сипучих матеріалів всередині цехів по технологічному потоку або по території підприємства. Ці установки в залежності від виду матеріалу, який

транспортується, концентрації аеросуміші і відстані транспортування можуть бути всмоктувальними, нагнітальними і всмоктувально-нагнітальними.

Транспортні установки в свою чергу розрізняються за здатністю переміщати аеросуміші різної концентрації і поділяються на установки низької, середньої і високої концентрації. В установках низької концентрації $\mu < 0,5$, середньої концентрації $0,5 < \mu < 2,0$, високої концентрації $\mu > 2,0$ [1] і [2].

1.5 Вузли та обладнання установок пневмотранспорту

До складу всіх систем пневматичного транспорту входять вузли завантаження матеріалу, вузли розвантаження матеріалу, тягово-нагнітальні машини, трубопровідні мережі.

Конструктивні рішення всіх вузлів, а також принципові схеми транспортування сипучих матеріалів визначаються в процесі проектування і залежать від численних конкретних умов.

Для завантаження сипких матеріалів (зерна) в нагнітальний трубопровід з надлишковим тиском і високою швидкістю повітряного потоку застосовуються спеціальні завантажувальні пристрої. Залежно від принципу дії і конструктивного виконання завантажувальні пристрої поділяються на всмоктувальні патрубки, всмоктувальні воронки, ежекційні воронки, шлюзові барабанні живильники і гвинтові живильники. Усмоктувальні патрубки, всмоктувальні воронки і ежекційні завантажувальні воронки застосовуються тільки в низьконапірних пневмотранспортних установках з тиском не вище 5-10 кПа.

Живильники застосовуються як у всмоктуючих, так і в нагнітальних системах пневмотранспорту, забезпечуючи герметизацію пневмотранспортера в вузлах завантаження.

Як тягово-нагнітальні машин в системах пневматичного транспорту застосовуються вентилятори і повітродувки серійного виробництва – ВЦП і ВВД, ВЦ7-42, ВР132, ВЦ-10, ВР120. Вони застосовуються тільки в нагнітальних пневмотранспортних системах, так як не призначені для переміщення через себе

суміші повітря з матеріалом, який транспортується.

Повітродувки – це категорія нагнітальних машин, яка по тиску нагнітання є проміжною між вентиляторами і компресорами. Установки з більш низьким тиском нагнітання відносять до повітродувок, а ті, які створюють перепад тисків менше 15 кПа – до вентиляторів.

Турбогазовулки, турбоповітродувки, турбонагнітачі, відцентрові компресори – це машини динамічного типу. Стиснення газу в них відбувається за рахунок відкидання газу робочим колесом (турбіною), яка швидко обертається, від центру до периферії.

Для забезпечення необхідної подачі повітря в деяких випадках рекомендується приймати дві, три і більше повітродувок, що працюють паралельно на один загальний ресивер і на одну мережу.

Розвантажувальні пристрої призначені для виведення переміщуваного матеріалу з систем пневмотранспорту в заданому місці або в будь-який приймальний пристрій технологічного обладнання. У якості розвантажувальних пристроїв застосовують циклони і дефлектори.

Циклони служать для відділення транспортованого матеріалу від повітря. Вони складаються з двох циліндрів – зовнішнього і внутрішнього. У верхній частині циклонів кільцевий простір між ними закритий. Зовнішній циліндр в нижній частині закінчується конусом, який має розвантажувальний отвір для проходу матеріалу. Для підключення трубопроводу в циклоні передбачений патрубок, який приварений до зовнішнього циліндру і розташований таким чином, щоб потік аеросуміші входив в кільцевий простір по дотичній.

Найбільш поширеними розвантажувальними пристроями є циклони. При транспортуванні матеріалів, які містять пил, застосовують циклони типу УЦ. У прямооточних системах застосовують також циклони типу К або Ц.

Дефлектори призначені для зміни напрямку руху потоку аеросуміші при виході з транспортного нагнітаючого трубопроводу. Застосовується при подачі зерна в транспорті засоби, в бункери і відкриті майданчики для формування насипів. Такий спосіб розвантаження пневмотранспортера допускається, якщо

вантаж не містить пилу.

Трубопровідні мережі служать для транспортування матеріалу, зваженого в повітряному потоці, і для повернення чистого повітря від циклонів-розвантажувачів до вузла завантаження матеріалу. Трубопровідні мережі складаються з прямих ділянок, відводів або колін, трійників, перемикачів потоків, компенсаторів, контрольних люків.

У системах пневмотранспорту з початковою ваговою концентрацією матеріалу ρ до 0,5 кг на 1 кг повітря застосовуються зварні повітропроводи з тонколистової сталі.

При значеннях ρ вище 0,5 в системах з максимальним тиском до 1000 кПа застосовують зварні повітропроводи з товщиною стінки 3 мм. У системах з тиском понад 1000 кПа застосовуються труби сталеві електрозварні прямошовні або зі спіральним швом.

Для систем аспірації і низьконапірних пневмотранспортних систем, відводи виготовляються зварними і сегментними з тонколистової сталі товщиною до 3 мм.

Для зварних відводів кривизна повинна бути R/d – не менше 2.

Для систем пневмотранспорту з тиском понад 1000 кПа і з підвищеними значеннями концентрації застосовують гнуті відводи. Зварні сегментні з тих же труб, що і прямі ділянки, а також зварні квадратного перетину з потовщеною стінкою по зовнішній дузі. Крутизна відводів для труб рекомендується R/d - не менше 5.

Трійники служать для злиття або поділу потоків суміші, які транспортуються в низьконапірних пневмотранспортних системах із застосуванням вентиляторів як тягово-напірних машин. Такі трійники виготовляють звареними [1].

Перемикачі потоку – це спеціальні пристрої з ручним або електричним приводом, що забезпечують можливість почергового з'єднання в одній точці мережі однієї ділянки трубопроводу з двома або кількома суміжними з ним і паралельними між собою ділянками.

Для цієї ж мети застосовуються трійники з перекидним клапаном, що

працює автоматично під впливом тиску потоку повітря.

Компенсатори застосовуються для запобігання трубопроводів від руйнування під впливом зусиль, що виникають в них внаслідок лінійного розширення і стиснення при нагріванні влітку і охолодженні взимку. Найчастіше роль компенсаторів відіграють відводи. На ділянках, довжина яких перевищує 100 м, встановлюють сальникові компенсатори між нерухомими опорами.

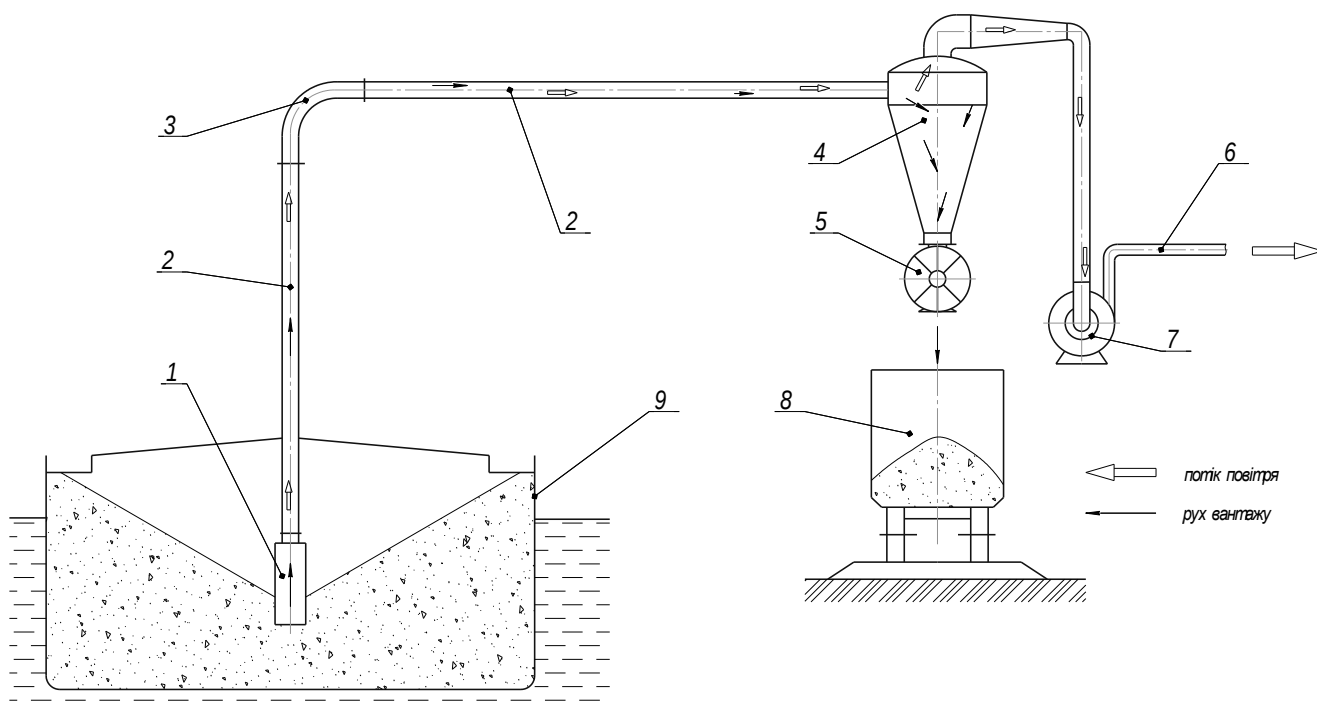
1.6 Аналіз технологічних схем установок пневматичного транспорту

Пневматичне транспортування ґрунтується на властивостях повітря, при певних умовах, переміщувати вантажі. Установки пневмотранспорту змушують повітря рухатися, створюючи різницю тисків між початком і кінцем труби.

Весь пневмотранспорт можна розділити на обладнання з низьким, середнім або високим робочим тиском. Повітродувки промислових установок забезпечують робоче позитивний тиск близько 0,5-1 бар, що створює вакуум 0,3-0,5 бар.

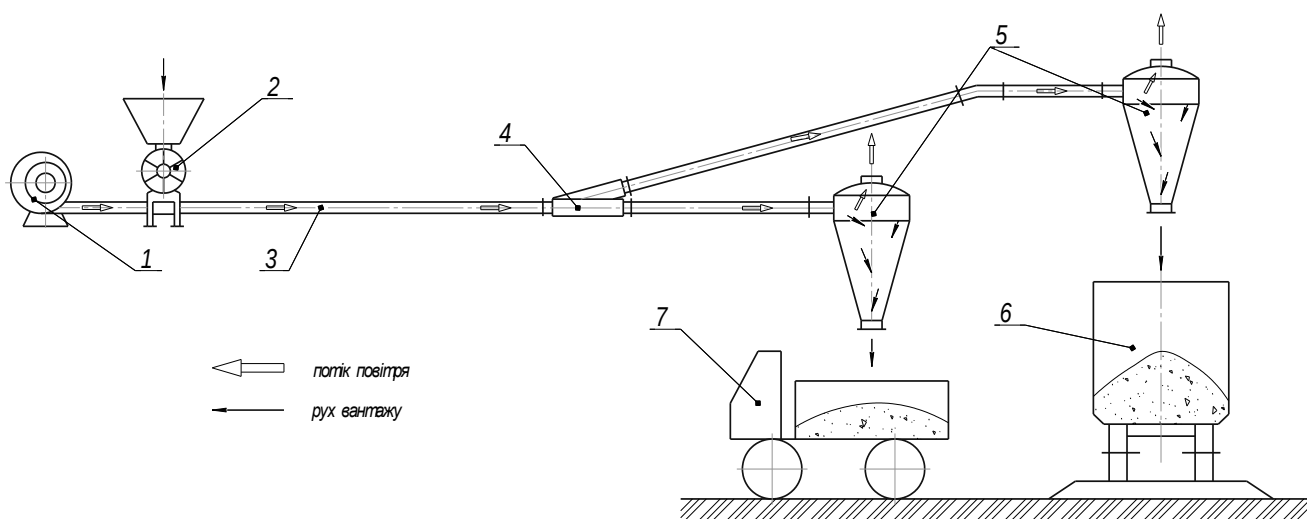
Нагнітач 7 на кінці труби створює вакуум, внаслідок чого виникає потік повітря в трубі. Подібно пилососу, вантаж підбирається всмоктувальним соплом 1 і переноситься по трубах 2, 3 в циклон 4. Тут вантаж відділяється від повітря (рис. 1.5). Вантаж виводиться з системи шлюзовим затвором 5. Повітря викидається з повітродувки 6 в атмосферу або в фільтр для очистки. Це обладнання дозволяє забирати вантаж з декількох місць і доставляти його в одну точку.

Типовими прикладами всмоктувального обладнання є стаціонарні, мобільні, пересувні або плавучі пневматичні суднорозвантажувальні машини, які використовуються для зерна і соняшнику, перевезеного великими океанськими судами і перевантажується на малі судна, баржі, вагони і автомобілі.



1 – всмоктуєчи сопло; 2 – трубопровід; 3 – коліно; 4 – циклон; 5 – шлюзовий затвор; 6 – повітропровід; 7 – нагнітач повітря; 8 – вагон; 9 – баржа

Рисунок 1.5 – Технологічна схема розвантаження за допомогою пневмоустановки всмоктувального типу



1 – нагнітач повітря; 2 – шлюзовий затвор; 3 – трубопровід; 4 – розгалужувач; 5 – циклон; 6 – вагон; 7 – автомобіль

Рисунок 1.6 – Технологічна схема завантаження транспорту за допомогою пневмоустановки нагнітаючої дії

- Рисунок 1.7 – Технологічна схема розвантаження за допомогою пневмоустановки всмоктуючи-нагнітальної дії

22

того, щоб ввести вантаж в трубу, а друга секція працює в режимі нагнітання для досягнення більшої продуктивності на великих відстанях.

Діаметр труб може змінюватися від 10 мм (в переробній промисловості) до 800 мм (для перевалки великої кількості вантажу, наприклад зерна з судна). Продуктивність обладнання може складати від декількох кілограм на годину і до 1000 тонн на годину.

Відстань транспортування – від 10 до 1000 метрів, швидкість потоку повітря змінюється в залежності від типу вантажу, але зазвичай знаходиться в межах 10-30 м/с.

1.7 Основні властивості насипних вантажів

Основними властивостями насипних вантажів є: гранулометричний склад (грудкуватість), вологість, насипна щільність, абразивність, злежується.

Гранулометричним складом називається кількісний розподіл часток речовини по крупності.

Коефіцієнт однорідності розмірів частинок речовини:

$$R_0 = \frac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}} \quad (1.4)$$

де α_{max} – найбільший розмір шматка;

α_{min} – найменший розмір шматка.

При $R_0 > 2,5$ вантаж вважається рядовим. При $R_0 < 2,5$ вантаж вважається сортованим. Шматки вантажу розміром від $0,8\alpha_{max}$ до α_{max} складають групу найбільших шматків.

Розмір типового шматка приймається рівним:

а) для матеріалу при концентрації найбільших шматків менше 10 %:

$$\alpha' = 0,8 \alpha_{max} \quad (1.5)$$

б) для матеріалу при концентрації найбільших шматків більше 10 %:

$$\alpha' = \alpha_{max} \quad (1.6)$$

в) для сортованого матеріалу:

$$\alpha' = \frac{(\alpha_{max} - \alpha_{min})}{2} \quad (1.7)$$

За величиною насипної щільності сипучі матеріали класифікуються на:

- *легкі* – при насипної щільності менше 600 кг/м³;
- *середні* – 600 кг/м³;
- *важкі* – 1200...2000 кг/м³;
- *дуже важкі* – більше 2000 кг/м³.

Кутом природного відкосу насипного вантажу називається кут між поверхнею вільного відкосу насипного вантажу і горизонтальною площиною. Розрізняють кути природного відкосу насипного вантажу в стані:

- а) спокою – α_n ;
- б) руху вантажу – α .

Наближено приймається: $\alpha = 0,7\alpha_n$.

Кут природного відкосу характеризується рухливістю часток вантажу.

Стираючою здатністю (абразивністю) насипних вантажів називається властивість частинок стирати під час руху поверхню, по якій вони рухаються. За абразивності насипні вантажі діляться на групи: А – неабразивні; В – малоабразивні; З – середньоабразивні; Д – високоабразивні.

Злежуваністю насипних вантажів називається властивість багатьох вантажів втрачати рухливість своїх часток при тривалому знаходженні цих вантажів у спокої.

Під час пневматичного транспортування в трубопроводі переміщається суміш повітря і зважений в ньому матеріал.

Характер руху частинок матеріалу в значній мірі залежить від форми, розмірів, ваги частинок, швидкості і напрямку потоку, а також від вмісту матеріалу в потоці.

Останній показник є особливо вагомим, тому що при незначному вмісті матеріалу в повітряному потоці явища. У зв'язку з цим і методи розрахунку установок пневмотранспорту відрізняються від методів розрахунку звичайних вентиляційних установок.

В процесі пневматичного транспортування сипучих матеріалів по

транспортному трубопроводу основним показником, що характеризує режим роботи установки, є насиченість повітря частками матеріалу, який транспортується, тобто концентрацією суміші, по якій проводяться всі основні розрахунки установки.

Розрізняють зазвичай вагову і об'ємну концентрації суміші, розуміючи під цим відношення мас і об'ємів транспортованого матеріалу і транспортного повітря.

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_n} \quad (1.8)$$

де μ – вагова концентрація, кг/кг;

Q_m – витрата матеріалу, що транспортується, кг/год;

Q_n – витрата повітря, кг/год.

А об'ємна концентрація буде дорівнює:

$$\delta = \frac{\mu \cdot \rho}{\rho_n} \quad (1.9)$$

де δ – об'ємна концентрація, м³/м³;

ρ - щільність повітря, кг/м³;

ρ_m - щільність матеріалу, кг/м³.

У пневмотранспортних установках величина коефіцієнта концентрації суміші змінюються в досить широких межах.

У всмоктуючих установках ця величина обмежена величиною вакууму, при якій щільність повітря забезпечує переміщення матеріалу. У зв'язку з цим значення концентрації суміші у всмоктуючих установках зазвичай знаходиться в межах 0,05–10 кг/кг.

У нагнітальних установках, що працюють з підвищеним надлишковим тиском, величина коефіцієнта концентрації суміші теоретично не обмежена і коливається від 10 до 150 кг/кг.

При русі твердої частинки зверху вниз в висхідному потоці газу спочатку частка буде рухатися з прискоренням. Такий рух буде спостерігатися доти, поки сила тяжіння буде врівноважена аеродинамічній силою тиску повітря (P), після того частка перестане рухатися. Ця швидкість повітря називається швидкістю

витання. Остання є основним критерієм, що характеризує аеродинамічні властивості частинок, можливість їх пневматичного транспортування.

Швидкість витання є тією межею, при якому вертикальний транспорт існувати не може. Для сталого пневмотранспортера швидкість потоку повинна бути вищою за швидкість витання.

Експериментальні дослідження руху твердих частинок по горизонтальних трубопроводах показали, що нормальне транспортування матеріалу в цьому випадку спостерігається при швидкості, в середньому, на 100% вищій відповідної швидкості повітря для вертикальних труб при однакових розмірах труб і однаковою подачі матеріалу.

1.7. Висновки з розділу

1. В результаті аналізу технологічних ліній приготування кормів встановлено, що в умовах господарств найпоширенішими є малогабаритні комбікормові установки, які можуть використовуватись для приготування комбікорму безпосередньо на фермі. Їх основними елементами є дробарка молоткова, сепаратор, основний змішувач, відвантажувальний шнековий транспортер, лопатевий змішувач для попереднього змішування, циклон і лінія транспортування компонентів комбікорму зі сховищ.

2. Згідно прийнятої технологічної схеми процесу приготування комбікормів удосконалення технічного забезпечення потребує саме лінія транспортування зернових складових, так як основною задачею якої є переміщення зерна на відстані 10-30 м. Тому в подальшому і будемо розглядати даний етап процесу приготування комбікорму.

3. Основними компонентами комбікорму є зернові складові (кукурудза, пшениця, ячмінь, овес) і добавки, премікси. Тому в результаті аналізу літературних джерел визначені їх фізико-механічні властивості – кути природного відкосу, об'ємна маса і шпаруватість, відносна вологість зерна при різній температур і вологості повітря.

4. В результаті аналізу пневмотранспортування встановлені основні переваги: герметичність системи; відсутність втрат вантажу; запобігання впливу на нього зовнішнього середовища; можливість переміщення вантажів по складній трасі з горизонтальними, похилими і вертикальними ділянками; зосередженість машинного обладнання в одному місці, що виключає догляд за установкою по всій трасі; пристосованість до складних місцевих умов будинків і споруд; переміщення вантажів з декількох місць в одне або з одного місця в кілька, а також поєднання переміщення вантажу з технологічними процесами; транспортування без участі людини.

1.8 Мета і завдання досліджень

Пневматичний транспорт знайшов широке застосування в умовах зернопереробних підприємств. Однак для його кращого використання в процесі транспортування зернових складових комбікорму необхідно обґрунтовувати параметри пневмотранспортних установок для конкретних умов виробництва.

Метою роботи є підвищення ефективності транспортування зернових складових комбікорму шляхом обґрунтування параметрів пневмотранспортера нагнітальної дії.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз фізико-механічних властивостей насіння зернових культур.
2. Проаналізувати технології і технічні засоби транспортування сипких матеріалів.
3. Вивчити основні чинники, які впливають на ефективність роботи пневмотранспортера нагнітальної дії.
4. Розробити експериментальний зразок пневмотранспортера та підібрати обладнання для експериментальних досліджень.
5. Розробити методики дослідження впливу параметрів пневмотранспортера

на ефективність транспортування зернових складових.

6. Встановити вплив параметрів роботи пневмотранспортера на ефективність його роботи.

7. Розробити практичні рекомендації щодо експлуатації пневмотранспортера нагнітальної дії.

8. Визначити економічну ефективність застосування пневмотранспортера.

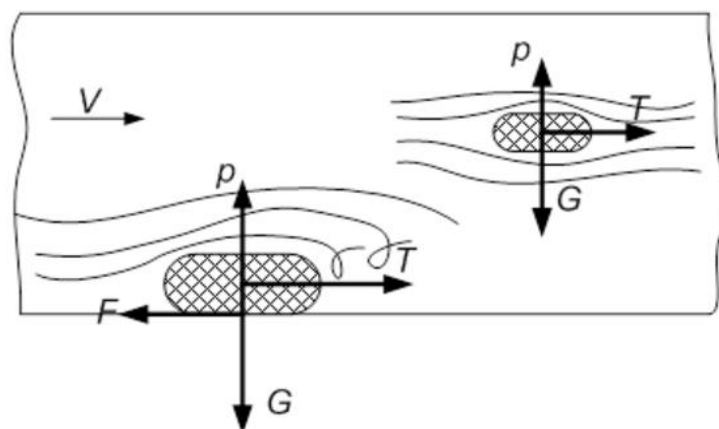
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРОМ

2.1 Основи теорії пневмотранспортування нагнітальними пневмотранспортними установками

Механізм впливу повітряного потоку на транспортований матеріал в горизонтальному трубопроводі наступний. На частку, що знаходиться на дні труби в горизонтальному трубопроводі, діють сили (рис. 2.1): вага частинки G , підйомна сила P , лобовий тиск T і сила тертя F .

Виникнення підйомної сили, що піднімає частку з дна і підтримує її в подальшому в підвішеному стані, відбувається наступним чином: при обтіканні повітрям частки на її задній (за ходом повітря) поверхні утворюється вихор, який в сукупності з силою лобового тиску забезпечує її підйом, обертання і переміщення уздовж осі труби.

Поки швидкість повітря невелика, підйомна сила недостатня, щоб підняти частку з дна труби, а лобовий тиск не може подолати силу тертя частинки об дно труби – частка нерухома.



Рисцнок 2.1 – Сили, які діють на частинку матеріалу в горизонтальному трубопроводі

При збільшенні швидкості повітря настає момент, коли підйомна сила ще не

відірвала частку від дна труби, а лобовий тиск вже перевищило силу тертя, і частка починає переміщатися, ковзаючи або перекочуючись по дну труби. При подальшому збільшенні швидкості повітря підйомна сила зростає і, долаючи вага частинки, піднімає її з дна труби.

При цьому частка рухається уздовж осі труби ще не стабільно, раз у раз опускаючись на дно і піднімаючись над ним знову. Це період нестійкого руху, в якому швидкість матеріалу набагато менша швидкості повітря. Подальше збільшення швидкості повітря призводить до ще більшого збільшення підйомної сили.

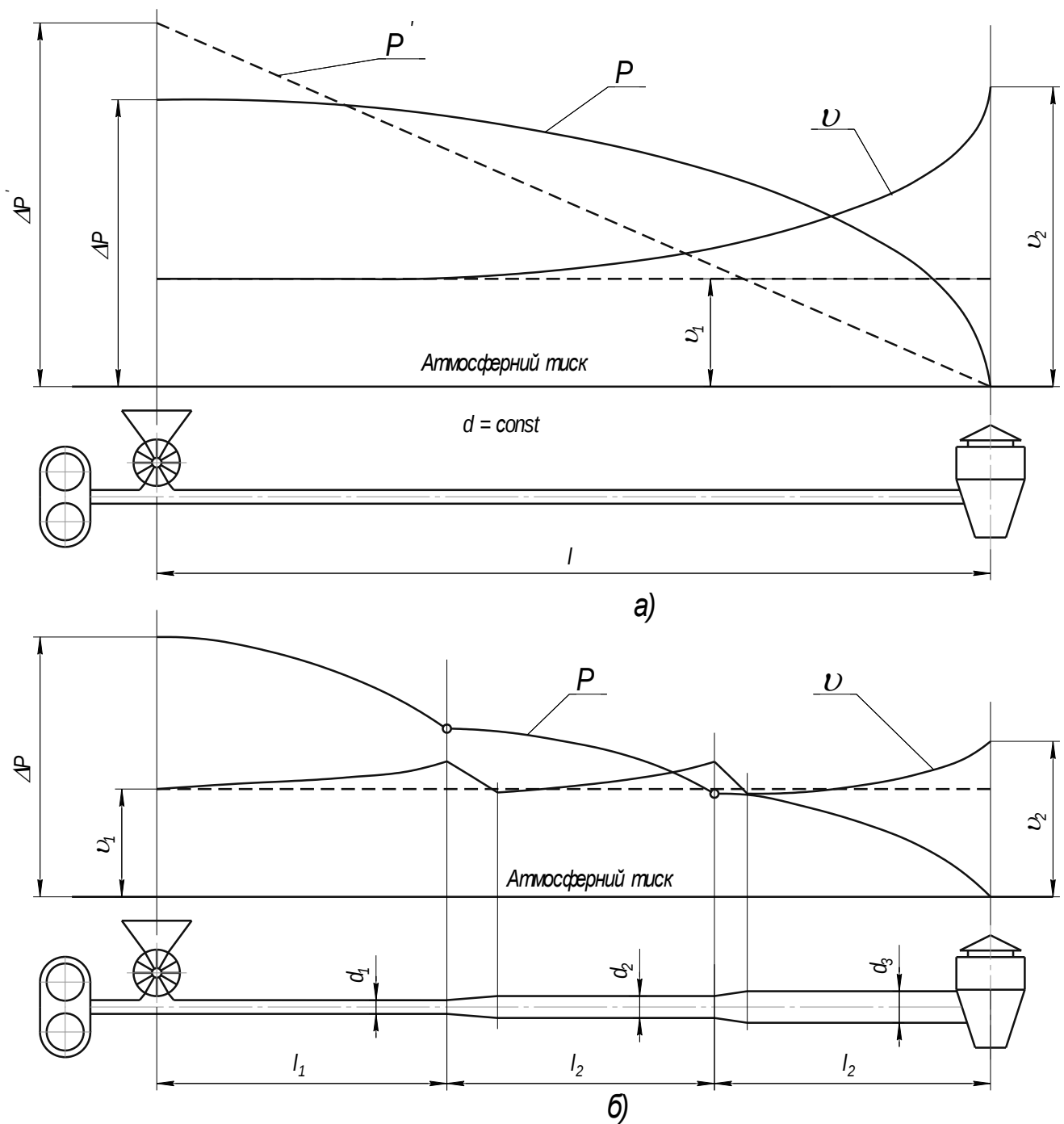
Частка вже опиняється надійно зваженою в повітряному потоці, робить коливання по вертикалі з малою амплітудою, не торкаючись дна. Осьова швидкість матеріалу (уздовж труби) збільшується ще більше; починається стійкий рух частинки. При подальшому збільшенні швидкості повітря швидкість частинки також зростає.

У нагнітальних пневмотранспортних установках матеріал переміщається в потоці стиснутого повітря, тому системи працюють більш надійно і застосовуються для подачі всіх видів сипучих вантажів на відстані до 1500 м і далі.

Характер зміни швидкості повітряного потоку по довжині трубопроводу показаний на рис. 2.2.

Відмінною особливістю нагнітальних пневмотранспортних установок середнього і високого тиску з трубопроводами постійного діаметра є поступове збільшення швидкості повітряного потоку по довжині трубопроводу. Це пояснюється тим, що при стисканні повітря повітродувною машиною його щільність на початку нагнітаючого трубопроводу поблизу завантажувального пристрою значно більша за щільність атмосферного повітря. Тому, відповідно до закону про сталість вагової витрати, швидкість повітряного потоку на цій ділянці є мінімальною. З віддаленням від завантажувального пристрою статичний тиск в трубопроводі падає, а щільність повітря в результаті його розширення відповідно зменшується і, як наслідок, збільшується швидкість течії повітряного потоку. На

виході з трубопроводу щільність повітря стає рівною щільності атмосферного повітря, а швидкість витікання досягає максимального абсолютного значення.



а – при постійному діаметрі трубопроводу; б – при ступінчастому трубопроводі

Рисунок 2.2 – Характер зміни тиску P і швидкості повітряного потоку v по довжині l транспортного трубопроводу

Збільшення швидкості повітряного потоку по довжині траси призводить до різкого збільшення втрат тиску на тертя в транспортному трубопроводі. Тому рішення задачі з забезпечення постійної швидкості повітряного потоку по довжині транспортного трубопроводу має велике практичне значення. Втрати тиску, викликані збільшенням швидкості руху потоку, можна зменшувати вирівнюванням абсолютного значення швидкостей повітряного потоку по всій довжині транспортного трубопроводу шляхом поступового або ступеневого збільшення його діаметра в напрямку від повітродувної машини до кінця трубопроводу.

Однак досконалої методики розрахунку і підбору таких транспортних трубопроводів для нагнітальних установок в даний час немає. Досвід експлуатації нагнітальних установок з транспортними трубопроводами змінного перерізу дуже малий. Тому завдання для розробки економних пневмотранспортних установок довжиною понад 500 м в даний час актуальна.

2.2 Аналіз руху потоку повітря та сипкого матеріалу в трубі пневмотранспортера

Для того, щоб частинка вантажу переміщалася, сила, яка діє на неї з боку потоку повітря, повинна перевищувати суму інших діючих на неї сил, а саме - ваги, тертя, інерції.

Існують три важливі чинники, які впливають на процес транспортування вантажів повітряним потоком: перший – швидкість частинки вантажу в потоці повітря w_s ; другий – швидкість потоку повітря w ; третій – відношення кількості вантажу в трубі до її обсягу, π .

На рис. 2.3.а показано дві найбільш важливі сили, які діють на частинки вантажу в вертикальному повітряному потоці.

У потоці w опір S частинки вантажу діє вертикально вгору, а її вага G – вертикально вниз. Коли обидві сили S і G рівні, то частинка знаходиться в стані спокою. Необхідної швидкістю потоку w називається підтримуюча швидкість w_s .

Мінімальною умовою для транспортування є умова, коли величина швидкості потоку у вертикальній трубі перевищує підтримуючу швидкість, і різниця між ними є значенням дійсної швидкості всіх частинок вантажу.

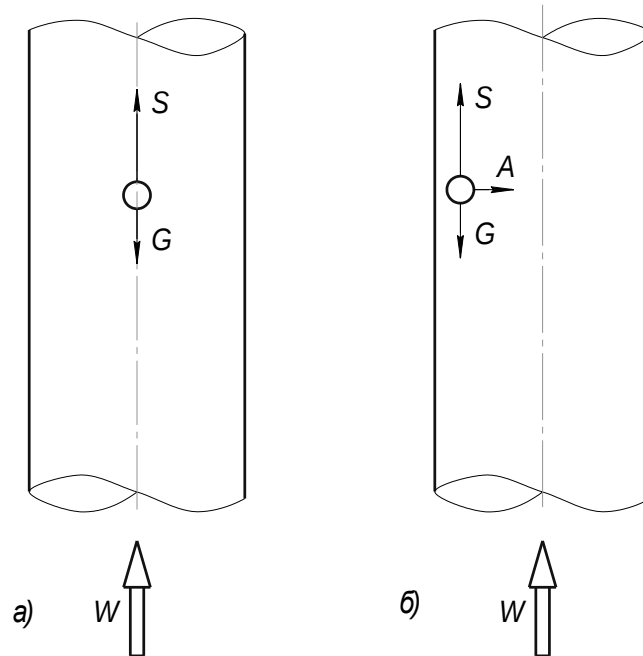


Рисунок 2.3 – Схема сил, які діють на частинки вантажу в вертикальному повітряному потоці

Таким чином:

$$S = \frac{c_w \cdot A \cdot \rho}{2 \cdot w^2} \quad (2.1)$$

- де S – сила з боку нагнітаючого потоку повітря;
 c_w – коефіцієнт опору, що залежить від форми частинки вантажу;
 A – площа найбільшого перетину вертикальної проекції частинки вантажу;
 ρ – питома щільність повітря;
 w – швидкість потоку повітря.

Вираз $\rho/2 \cdot w^2$ виражає динамічний тиск.

Підтримуюча швидкість залежить від багатьох факторів. В основному, питома щільність повітря впливає на зусилля, яке створюється потоком – тому продуктивність буде дещо збільшуватися при високому атмосферному тиску або в холодну погоду. Крім того, підтримуюча швидкість визначається величиною c_w ,

яка залежить від шорсткості поверхні частинки вантажу. Несферична форма частинок має перевагу, так як частинки продовгуватої форми для зменшення опору розташовуються довгою віссю вздовж напрямку повітряного потоку тонким кінцем вниз. Це пояснює відмінність продуктивності машин при однакових умовах транспортування з різними типами вантажів.

Якщо розглянута частинка вантажу знаходиться не в середині перетину труби, а ближче до її периметру (тобто біля стінки труби) як це показано на рис. 2.3б, сила A , перпендикулярна до напрямку потоку, зростає. Ця підйомна сила виникає в результаті неоднорідності швидкості потоку в перетині поблизу стінки труби і намагається перемістити частку ближче до центру труби.

Цей ефект має вагомий вплив під час транспортування в горизонтальних трубопроводах і представлений на рис. 2.4, а, б, і в.

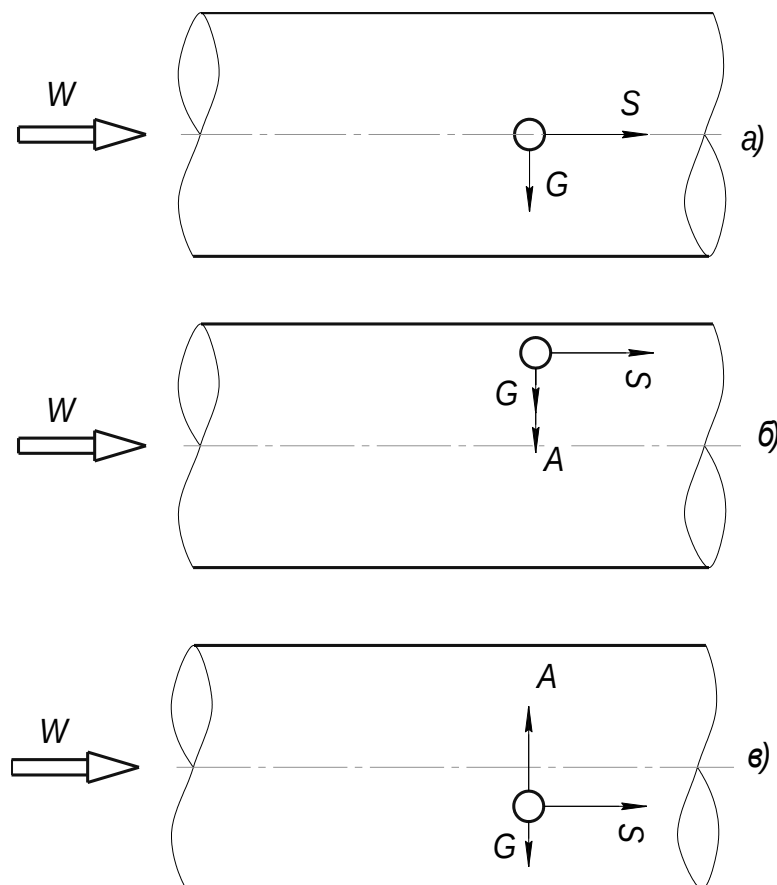


Рисунок 2.4 – Схема сил, які діють на частинки вантажу під час транспортування в горизонтальних трубопроводах

Частка вантажу в потоці в центрі труби (рис. 2.4,а) рухається під дією сили опору потоку (штовхаючої сили) S , що діє вправо і сили тяжіння G , що діє вниз. Якщо частка близька до стінки труби, як на рис. 2.4,б і 2.4,в, починає діяти підйомна сила A . Нижче осьової лінії труби ця сила протидіє силі тяжіння частинки.

2.3 Аналіз чинників, які впливають на рух матеріалу в пневмотранспорті

На практиці процес транспортування сипких вантажів в повітряному потоці по трубах є набагато складнішим. Крім вказаних сил, на наведених схемах повинні бути присутні й інші сили – наприклад, сили тертя між частками і стінкою труби, імпульси сили всіх частинок, на які діє повітряний потік. Така система транспортування має назву транспортування матеріалу в розрідженому стані. Частинки вантажу переміщуються в підвішеному стані або підстрибуючи і переносяться в трубі в більш-менш однорідній суміші з повітрям. Рівень концентрації виражається безрозмірним показником μ – співвідношенням суміші. Цей показник оцінює співвідношення кількості перенесеного вантажу до загальної маси перекачаного повітря за той же проміжок часу. На рис. 2.5 показано переміщення частинок вантажу в вертикальних і горизонтальних трубах у розрідженому стані.

Внаслідок різних напрямків векторів швидкостей рухомих частинок, виникаючі поперечні сили змушують частки стикатися зі стінками труб. При цьому вони сповільнюються, відскакують і їх необхідно розігнати знову, що призводить до втрати тиску в трубі. Більш-менш рівномірний потік повітря можливий при відповідній швидкості повітря при транспортуванні у вертикальному напрямку і співвідношенням суміші приблизно від 10 до 20, як показано на рис. 2.5, а. Якщо ж швидкість потоку повітря стає близька до підтримуючої швидкості і співвідношення суміші становить близько 30, то виникає явище відділення вантажу і повітря (див. рис. 2.5, б.)

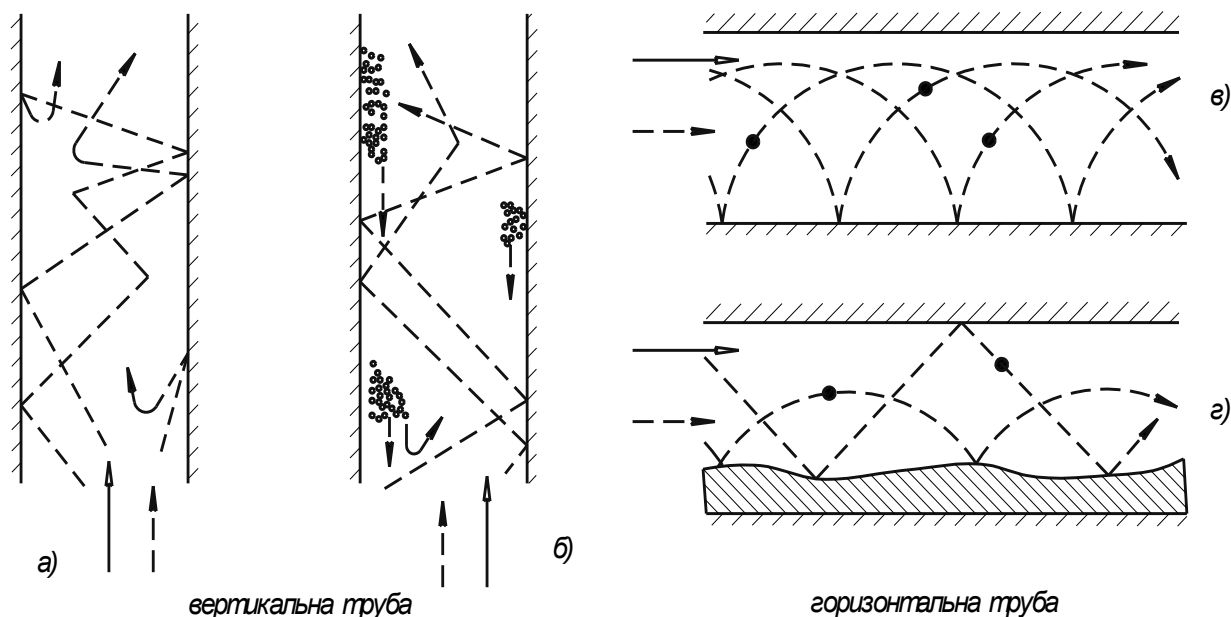


Рисунок 2.5 – Переміщення частинок вантажу в вертикальних і горизонтальних трубах у розрідженому стані.

В процесі горизонтального транспортування під дією сили тяжіння стає можливим відділення вантажу при зменшенні швидкості потоку повітря. Якщо швидкість повітря близька до підтримуючої швидкості, як на рис. 2.5, г, вантаж, особливо дрібний, осяде на дні труби. Більшість цих частинок переміщуються, формуючи потужний затор на криволінійних ділянках матеріалопроводу. Це може статися, якщо запас тиску повітря, який створюється нагнітачем повітря, не відповідає необхідним параметрам. Тому у будь-якій точці матеріалопроводу необхідно підтримувати мінімальну, критичну швидкість потоку повітря. Вона змінюється в залежності від типу вантажу і може складати від 10 до 30 м/с. Якщо швидкість впаде, вантаж ляже на дно труби і це призведе до утворення затору. Швидкість, при якій може виникнути затор залежить від конфігурації матеріалопроводу в кожному окремому випадку. Підвищення швидкості повітря дозволяє уникнути забивання, але призводить до зростання зношування трубопроводів від тертя вантажу по їх стінках, може погіршувати товарну якість вантажу та зростання потужності, необхідної для створення більшого тиску повітря.

Електричну потужність N нагнітача повітря, необхідну для переміщення тільки повітря, може бути знайдена з об'ємної витрати, загального необхідного тиску (Δp) і коефіцієнта корисної дії (η):

$$N = V \cdot \Delta p / \eta . \quad (2.2)$$

Потік повітря це добуток площі перерізу труби A і швидкості потоку повітря w , тому:

$$V = A \cdot w = (\pi \cdot d^2) / 4 \cdot w . \quad (2.3)$$

Але з рівняння Бернуллі, втрати тиску в трубі через турбулентність пропорційні квадрату швидкості потоку, тому

$$\Delta p = \alpha w^2 . \quad (2.4)$$

Таким чином,

$$N = \alpha w^3 . \quad (2.5)$$

Це означає, що для збільшення швидкості потоку повітря необхідне значне збільшення потужності.

Підтримуюча швидкість відіграє велику роль при пневматичному транспортуванні потоку матеріалу, але в даному випадку будемо розглядати рух окремої частинки вантажу. Насправді ж вантаж, як правило, переміщається порціями, і дослідження стверджують, що вони переміщаються дещо швидше, ніж окремі частинки. Поясненням цьому є ефект площині, захищеної від вітру. Це означає, що більша концентрація частинок вантажу в трубопроводі потребує більшої потужності для забезпечення транспортування.

Через те, що частинки в зразку вантажу ніколи не мають абсолютно однаковий розмір і поверхню, не існує точного значення підтримуючої швидкості для будь-якого вантажу. Приблизне значення може бути визначено, коли залишається 50% зразка вантажу. Пшениця, наприклад, має середню підтримуючу швидкість 9 м/с.

Під час розрахунків транспортної труби необхідно визначити робочу швидкість потоку повітря. Вона повинна значно перевищувати підтримуючу швидкість, щоб запобігти утворенню заторів. Наприклад, швидкість повітря для зерна, на практиці, встановлюється в значеннях 20-25 м/с.

Швидкість вантажу (частки) – це різниця між швидкістю потоку повітря w і підтримуючої швидкістю w_s .

Швидкість w повинна бути такою, щоб її відношення до швидкості потоку повітря становила близько 0,6. Зерно має підтримуючу швидкість 9 м/с, а необхідна швидкість потоку повітря – 23 м/с.

2.4 Втрати тиску в транспортній трубі

На рис. 2.6 показано, з яких компонентів складаються втрати тиску і швидкості повітря в трубі.

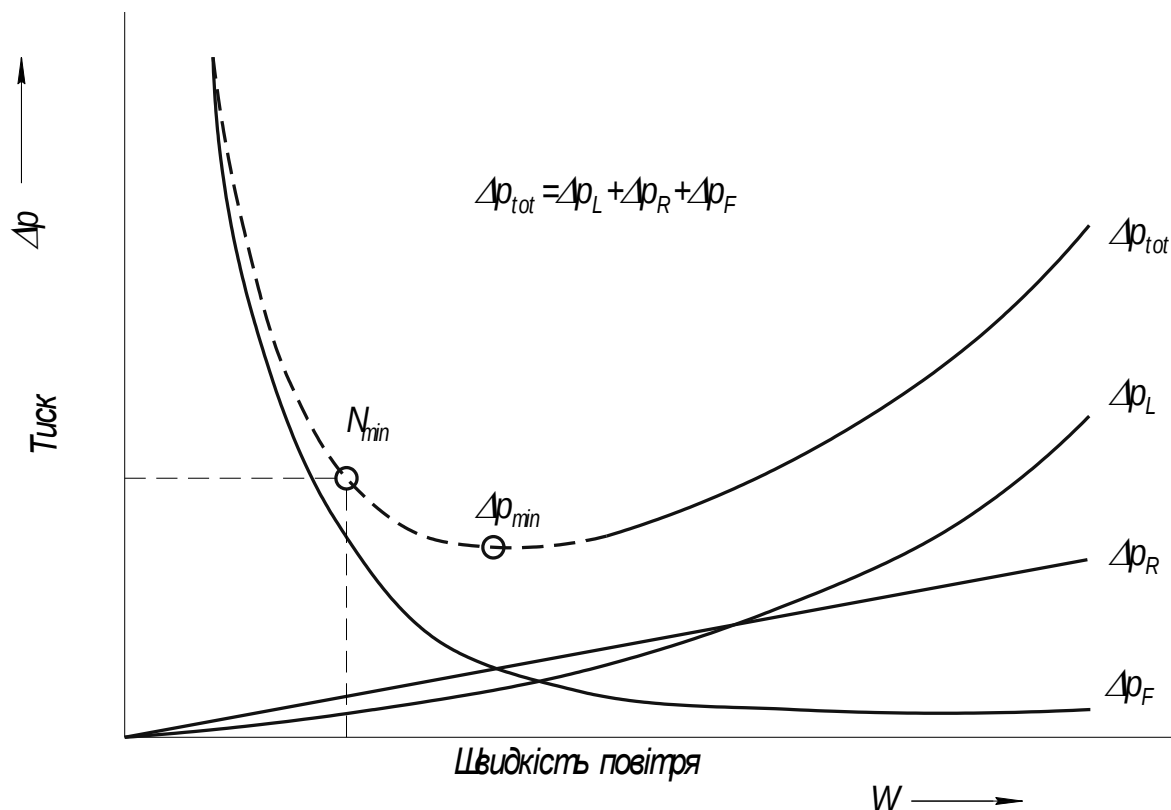


Рисунок 2.6 – Графік зміни втрат тиску

До них відносяться наступні фактори:

– тертя повітря в трубі (без вантажу), яке необхідно подолати (крива Δp_L .)

Так як тиск падає пропорційно квадрату швидкості повітря, то її потрібно підтримувати на якомога нижчому значенні.

– втрати тиску ΔP_R , необхідні для розгону вантажу під стінами труби через їх постійне сповільнення. Ці втрати збільшуються лінійно зі збільшенням швидкості потоку повітря.

– втрати тиску, викликані ΔP_F викликані кількістю частинками вантажу в трубі. Якщо потік вантажу постійний, при падінні швидкості потоку повітря, кількість вантажу в трубі збільшується, співвідношення суміші змінюється і, отже, втрати тиску зростають. Крива на графіку є гіперболу.

Сумарно, всі криві формують загальну криву втрат, інакше - крива характеристики системи, ΔP_{TOT} . Її форма залежить від вантажу, співвідношення суміші і конфігурації транспортуючих труб, але параболічна форма характерна для всіх пневматичних транспортуючих систем.

Потужність нагнітаючої установки залежить від тиску Δp і швидкості повітря w . Робоча точка з мінімальним енергоспоживанням N_{min} не збігається з точкою мінімального тиску. Робочий діапазон транспортування розрідженого стану обмежений більшою швидкістю повітря і значними енерговитратами, з метою запобігання заторів в транспортній трубі.

2.4.1 Втрати тиску, викликані прискоренням частинок вантажу

Тверді частка повинні прискорюватися до мінімально допустимої швидкості так швидко, наскільки це можливо. Втрати на прискорення віднімають значну частину тиску, який створюється нагнітачем повітря. Ці втрати виникають тільки в точці впуску вантажу всмоктуючих або нагнітають машин.

У комбінованих всмоктувально-нагнітальних машинах це явище виникає двічі: в соплі при всмоктуванні вантажу і після циклону, коли вантаж потрапляє в нагнітаючу гілку матеріалопроводу. Еквівалентна довжина транспортування може бути визначена для вираження значення опору прискоренню і його частки в усіх втратах тиску. Вона визначається як довжина горизонтальної транспортної труби, яка дає ті ж втрати тиску при незмінній швидкості транспортування.

Рис. 2.7. показує криву, отриману експериментальним шляхом. З цієї кривої

можна визначити еквівалентну довжину для транспортування пшениці на середній швидкості потоку повітря 22 м/с, незалежно від кількості вантажу. Асимптотична крива наближається до граничного значення при пропускній спроможності понад 5 кг/с – продуктивність близько 20 т/год. У цій точці еквівалентна довжина може вважатися постійною – 22 метри і незалежної від продуктивності устаткування. У всмоктуючих установках присутні також втрати, обумовлені типом всмоктувального сопла. Значення цих втрат можна приймати від нуля і до значення втрати на всмоктування в соплі.

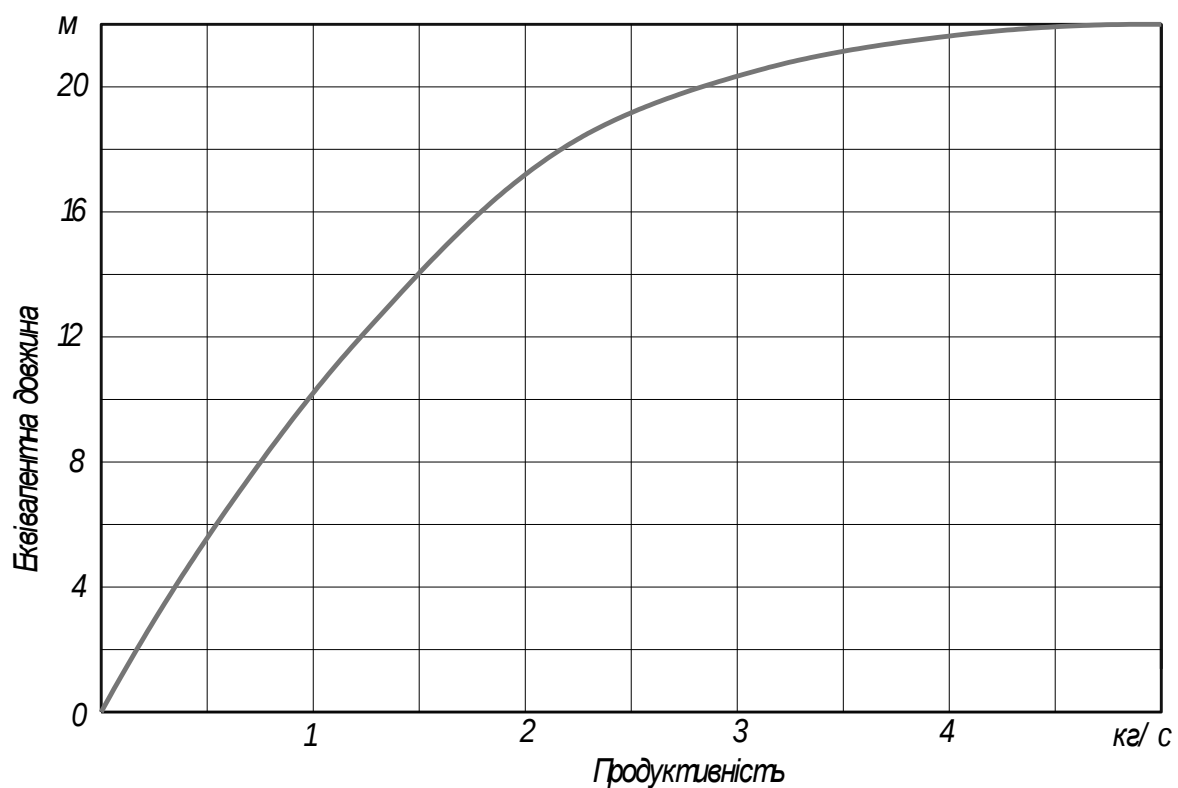


Рисунок 2.7 – Залежність еквівалентної довжини від продуктивності пневмотранспортера

2.4.2 Втрати тиску в колінах труб

При проектуванні матеріалопроводів необхідно прагнути до зменшення кількості точок зміни траєкторії. В колінах труб має місце постійне биття

частинок вантажу в потоці повітря. У такому випадку потрібно надавати додаткове прискорення частинок, а це підвищує вимоги до потужності обладнання. Більший знос в коліні вимагає застосування спеціальних рішень, таких, як збільшення товщини стінки труби. Це ж явище може призвести до погіршення якості вантажу. На рис. 2.8 показано рух вантажу і потік повітря в коліні транспортної труби.

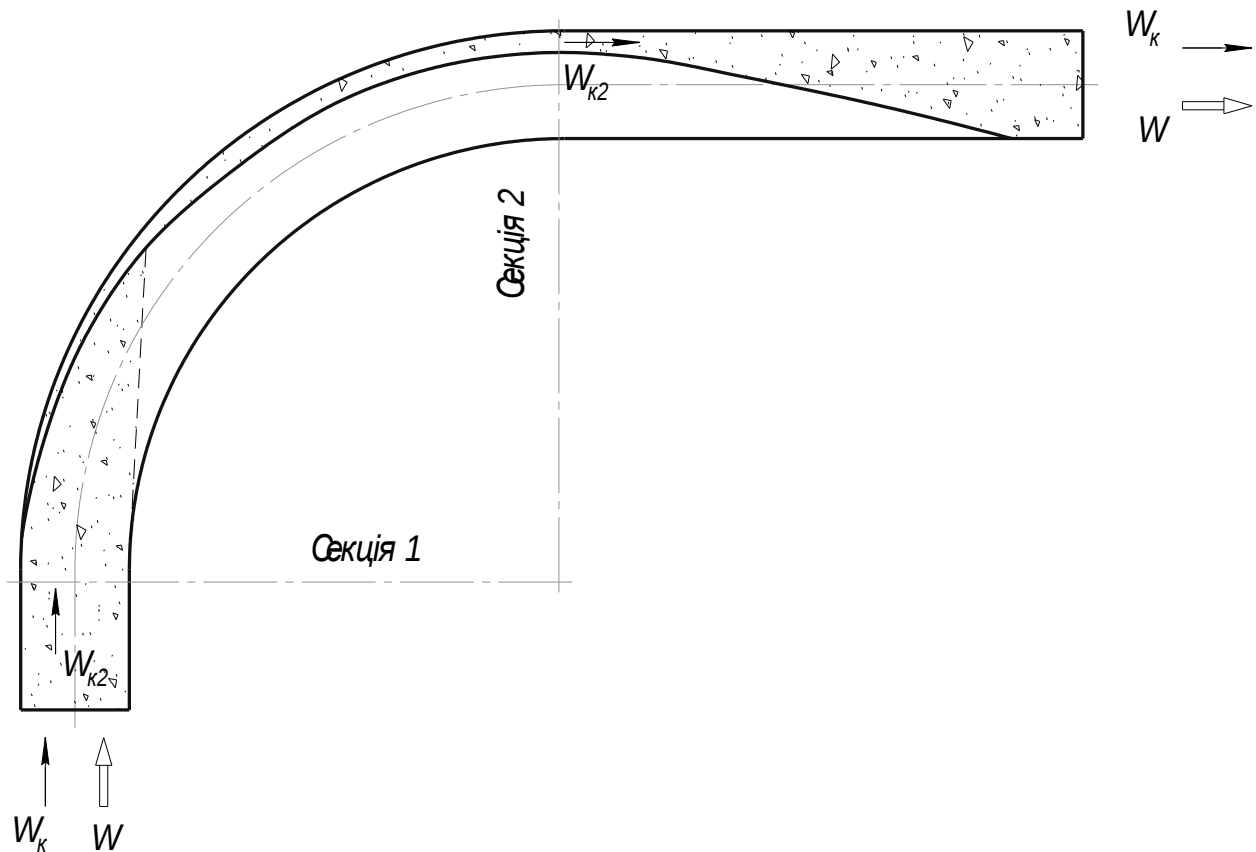


Рисунок 2.8 – Схема руху вантажу і повітря в коліні транспортної труби

В процесі проходження вантажу в зоні коліна можуть виникнути наступні ситуації:

1. Перед входом в коліно, до перетину з кордоном секція I, вантаж рівномірно змішаний з повітрям;
2. При перетині кордону секція I починається відділення матеріалу від потоку повітря;
3. Між межами секції I і секції II матеріал скупчується біля зовнішньої

стілки коліна під дією відцентрової сили. Під дією тертя він сповільнюється, тому швидкість часток вантажу на вході вища, ніж на виході;

4. Після перетину кордону секція II вантаж і повітря знову змішуються.

Експерименти показали, що втрати тиску в трубі при транспортуванні вантажу трохи вище, ніж просто при продувці повітрям. Реальні втрати тиску після зміни напрямку викликані необхідністю прискорення частинок вантажу.

Еквівалентна довжина коліна труби - це довжина горизонтальної труби аналогічного діаметру, аналогічної шорсткості поверхні і з аналогічною втратою тиску. На рис. 2.9 показує еквівалентну горизонтальну довжину коліна 90° з нормальним радіусом кривизни від чотирьох до шести діаметрів труби.

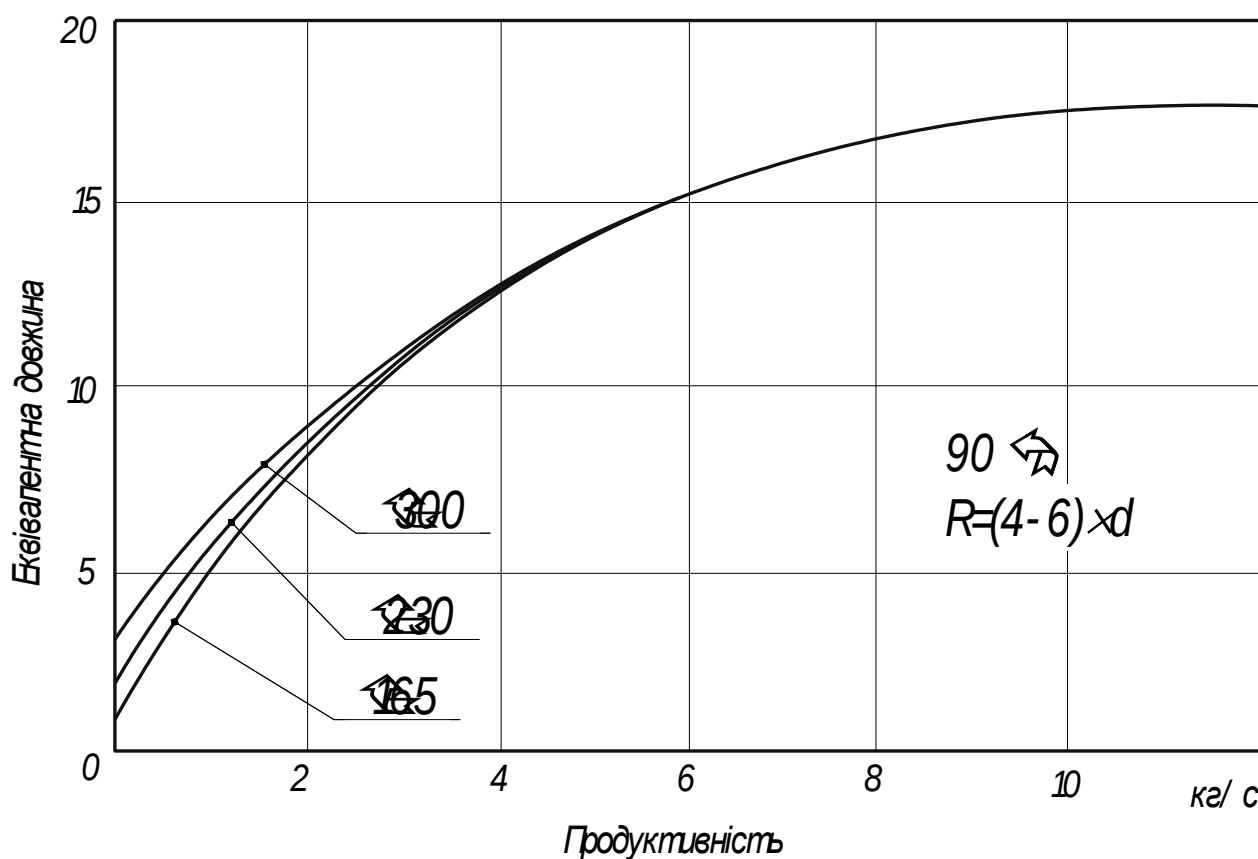


Рисунок 2.9 – Еквівалентна довжина труби для колін різного діаметру

З рис. 2.9 бачимо, що для малих продуктивностей (менше 4 кг/с), існує невелика залежність від діаметра труби. При продуктивності більше 10 кг/с кривизна наближається до граничного значення, більше 30 кг/с – може

враховуватися постійна еквівалентна довжина близько 18 метрів. Це означає, що прибравши одне коліно, ми можемо подовжити матеріалопроводи майже на 20 метрів без втрати продуктивності.

Коліна з кутом менше 90° , наприклад 45° , мають меншу еквівалентну довжину. Тести показали, що різниця між коліном в горизонтальній площині і коліном між горизонтальною і вертикальною трубою дуже мала і нею можна знехтувати, тому в обох випадках враховується однакова еквівалентна довжина.

Втрати тиску при вертикальному переміщенні вантажу у вертикальних трубах, більші ніж в горизонтальних, тому що відбувається додаткова робота з підйому вантажу. Це викликає додаткове падіння тиску і в цьому випадку приймається допущення, що падіння тиску на одному метрі вертикальної ділянки рівне дворазовому падінні тиску на метрі горизонтальної ділянки. Таким чином, при визначенні еквівалентної довжини матеріалопроводу, довжина вертикального ділянки подвоюється.

2.5 Методика розрахунку установок пневмотранспорту

Вихідними параметрами для розрахунку установок пневмотранспорту є:

- продуктивність Q (т/год) або V ($\text{м}^3/\text{год}$);
- довжина і конфігурація трубопроводу;
- фізико-механічні властивості вантажу.

У системах пневмотранспорту масова концентрація аеросуміші в залежності від характеристики вантажу і конфігурації траси трубопроводу досягає $\mu = 8 \dots 25$, при транспортуванні аерованими потоками $\mu = 60 \dots 150$.

Для попередження завалів повинна враховуватися крупність частинок вантажу і виконуватися умова:

$$D \geq 3 \cdot a, \quad (2.6)$$

де a – розмір типових частинок вантажу;

D – діаметр трубопроводу.

Внутрішній діаметр трубопроводу визначається за формулою:

$$D \geq \frac{\overline{4 \cdot Q \cdot \gamma_{\Pi}}}{\pi \cdot v \cdot \gamma_{\Pi}}, \quad (2.7)$$

де Q – секундна витрата повітря, м³/с;

γ_{Π} – питома вага атмосферного повітря;

v – середня швидкість повітряного потоку, м/с;

γ_{Π} – питома вага повітря на початку нагнітального трубопроводу, кг/м³.

Тоді секундна витрата повітря

$$Q = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot v \cdot \gamma_{\Pi}}{4 \cdot \gamma_{\Pi}}, \quad (2.8)$$

Знаючи секундну витрату повітря, можна визначити секундну вагову витрату матеріалу, який транспортується:

$$G_{\Pi} = Q \cdot \gamma_{\Pi} \cdot \mu, \quad (2.9)$$

де G_{Π} – секундна вагова витрата матеріалу, кг/с;

μ – насипна щільність матеріалу, кг/м³.

Загальний тиск в пневмотранспортній установці складається з сумарних втрат тиску в нагнітальному ділянці трубопроводу.

Втрати тиску повітря на основній нагнітальній ділянці транспортної системи при русі по ньому аеросуміші складаються з втрат тиску на надання кінетичної енергії аеросуміші, втрат тиску в завантажувальних пристроях, в транспортному трубопроводі і втрат тиску на виході з трубопроводу:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{тр}} + P_{\text{ке}} + P_{\text{зп}} + P_{\text{в}}, \quad (2.10)$$

де $P_{\text{тр}}$ – втрати тиску на тертя в транспортному трубопроводі;

$P_{\text{ке}}$ – втрати тиску на надання кінетичної енергії аеросуміші;

$P_{\text{зп}}$ – втрати тиску повітря в завантажувальному патрубку, викликані зміною геометричних розмірів трубопроводу;

$P_{\text{в}}$ – втрати тиску на виході з трубопроводу.

Після закінчення розрахунку пневмотранспортної установки визначають необхідний тиск і витрату повітря, що розвиваються повітродувною машиною (вентилятором).

Необхідний тиск, кг/м², визначають за формулою:

$$P = C \cdot P_{\Sigma}, \quad (2.11)$$

де C – коефіцієнт запасу, приймається рівним $C = 1,1$.

Потрібна часова витрата повітря з урахуванням втрат через живильник, $\text{м}^3/\text{с}$, знаходять за формулою

$$Q' = 3600 \cdot m \cdot Q, \quad (2.12)$$

де m – коефіцієнт, що враховує втрати стисненого повітря через завантажувальний пристрій, $m = 1,05$.

Необхідна споживана потужність для забезпечення необхідного тиску і витрати при безпосередньому з'єднанні машини з електродвигуном через муфту визначається за формулою

$$N = \frac{z \cdot Q' \cdot P}{102 \cdot \eta_m \cdot \eta_{пр}}, \quad (2.13)$$

де z – коефіцієнт запасу, $z = 1,2$;

η_m – ККД машини;

$\eta_{пр}$ – ККД механічного приводу.

2.6 Розрахунок нагнітальної установки

Нехай коефіцієнт концентрації суміші для пилоподібних і порошкоподібних матеріалів $\mu = 20$ кг/кг.

Технічну продуктивність установки визначають за формулою:

$$Q_t = \frac{Q_c \cdot k \cdot k_1}{t}, \quad (2.14)$$

де Q_c – середньодобова продуктивність установки;

$k = 1,5$ – коефіцієнт нерівномірності подачі матеріалу в пневматичну лінію протягом доби;

$k_1 = 1,25$ – коефіцієнт, який враховує перспективи продуктивності;

t – час роботи установки в добу.

Швидкість повітря розраховують за рівнянням:

$$v = \alpha \cdot \overline{\rho_m} + B \cdot l_{прив}^2 \quad (2.15)$$

де α – коефіцієнт, що враховує крупність матеріалу (для пилоподібних матеріалів - $\alpha = 10 \dots 16$; для зернистих - $\alpha = 17 \dots 20$; для дрібноштучних -

$$\alpha = 17 \dots 22.$$

$B = (2 \dots 5) \cdot 10^{-5}$ – коефіцієнт, що враховує зміну щільності повітря;

ρ_m – щільність матеріалу, що транспортується, кг/м³;

Після вибору основних вихідних даних розрахунків проводять наступним чином.

Визначають секундний витрата повітря:

$$Q_B = \frac{Q_T}{3600 \cdot \rho \cdot \mu}, \quad (2.16)$$

Визначають діаметр трубопроводу:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot v}}, \text{ м (мм)} \quad (2.17)$$

і округляємо до найближчого більшого або меншого, за чинним ДСТУ на труби, діаметра.

Уточнюють значення секундної продуктивності

$$Q_B = F \cdot v, \text{ м} \quad (2.18)$$

де F – площа перетину трубопроводу стандартної труби.

За остаточним значенням Q_B вибирають повітрянагнітальну установку.

2.7 Основні характеристики відцентрових вентиляторів

Основними характеристиками при виборі вентилятора є:

– надлишковий повний тиск на вихлопі $\Delta P_{нов}$;

– продуктивність вентилятору V .

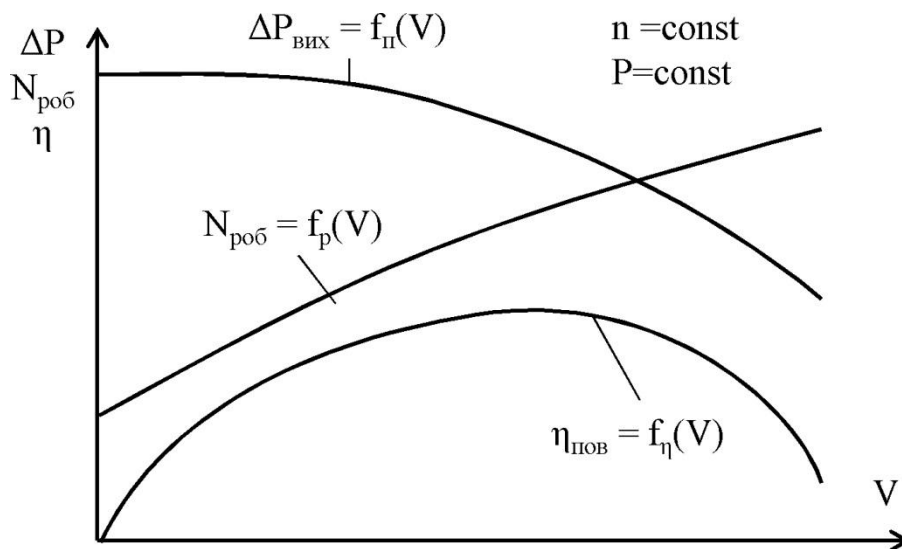
Допоміжними характеристиками, що дозволяють точніше підібрати вентилятор для конкретних умов, є:

– робоча потужність – $N_{роб}$;

– число обертів робочого колеса – n ;

– повний коефіцієнт корисної дії вентилятору (без електродвигуна) – $\eta_{нов}$.

У цілому прийнято, що характеристикою вентилятора називаються залежності $\Delta P_{нов} = f(V)$, $N_{роб} = f(V)$ і $\eta_{нов} = f(V)$ при $n = const$. Зазвичай ці характеристики представляються у вигляді графіків (рис. 2.10).



$\Delta P_{\text{нов}}$ – надлишковий повний тиск; $N_{\text{роб}}$ – споживана потужність; $\eta_{\text{нов}}$ – ККД

Рисунок 2.10 – Характеристика відцентрового вентилятора

Якщо нагнітальний отвір вентилятора закрити засувкою, то витрата газу через нього буде дорівнювати нулю, а статичний тиск перед засувкою (на виході з вентилятора) буде максимальним. У цьому випадку у вентиляторі утвориться рівномірний круговий рух газу, на створення якого йде певна потужність.

При цьому повний ККД вентилятора $\eta_{\text{нов}} = 0$, тому що продуктивність вентилятору V дорівнює нулю. Якщо відкрити засувку, то почнеться процес витікання газу через нагнітальний отвір.

Для більшості відцентрових вентиляторів сумарні гідравлічні втрати усередині вентилятора зі збільшенням продуктивності від нуля спочатку трохи спадають, а потім починають зростати. Внаслідок цього залежність $\Delta P_{\text{нов}} = f(V)$ на рис. 2.12 має максимум, що припадає на малу витрату газу. На зростаючій гілці характеристики вентилятор працює не стабільно, тому така його експлуатація не рекомендується.

Потужність, яка споживається електродвигуном вентилятора $N_{\text{ел}}$ та робоча потужність $N_{\text{роб}}$ зі збільшенням витрати газу постійно зростають та досягають максимуму в момент, коли вентилятор від'єднують від аеродинамічної мережі і він працює на атмосферу, тобто, коли $\Delta P_{\text{нов}} = P_{\text{дин}}$ та $\Delta P_{\text{ст}} = 0$ (рис. 2.13). Тому пуск вентилятора повинен здійснюватися з закритою засувкою, щоб уникати

перевантаження електродвигуна.

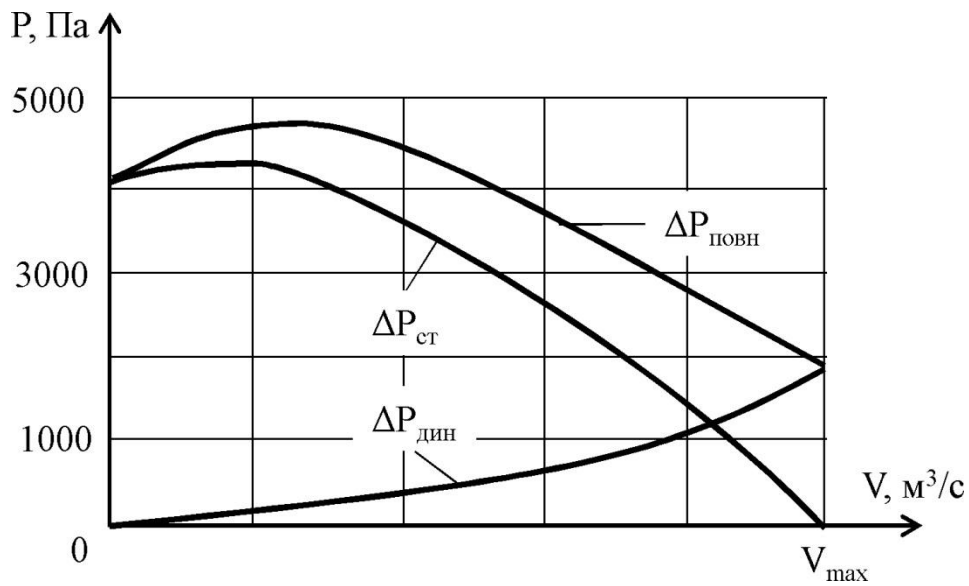


Рисунок 2.12 – Залежність тиску на виході вентилятора від витрати повітря

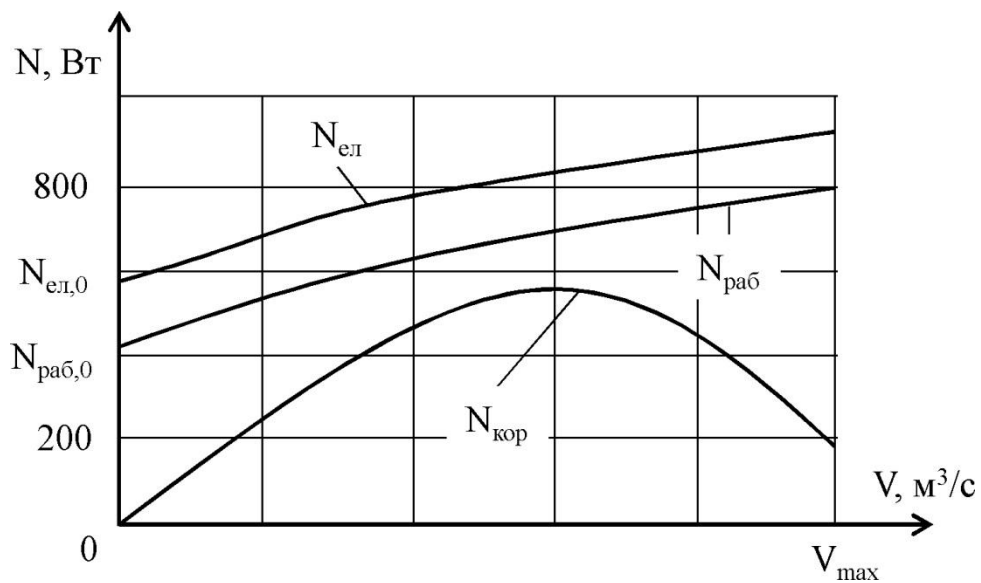


Рисунок 2.13 – Залежність потужності, що споживається та потужності вентилятора, що витрачається від витрати повітря

Залежність $\eta_{\text{пов}} = f(V)$ також має екстремальний характер (рис. 2.14).

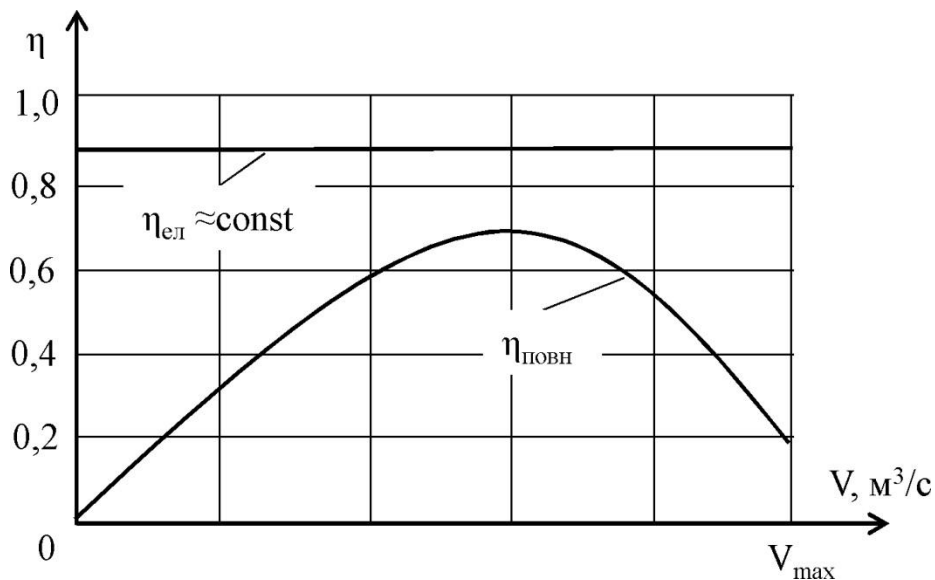


Рисунок 2.14 – Залежність ККД вентилятору від витрати повітря

Наявність максимуму у $\eta_{нов}$ можна пояснити наступним чином. Спочатку, при поступовому збільшенні витрати газу від нуля, в умовах відносно низьких витрат енергії на тертя та удар, корисна потужність $N_{кор}$ зростає швидше ніж робоча $N_{роб}$ – ККД росте. Але втрати тиску на тертя та на удар різко зростають (вони пропорційні витраті газу у квадраті) і швидкість росту $N_{кор}$ вповільнюється. При певному значенні витрати газу (максимальне значення ККД) подальше збільшення витрати газу приводе до падіння $\Delta P_{нов}$ та $N_{кор}$, а значить і $\eta_{нов}$.

2.8 Висновки з розділу

1. В результаті теоретичних досліджень встановлено характер зміни тиску P і швидкості повітряного потоку v по довжині l транспортного трубопроводу. Виявлено, що збільшення швидкості повітряного потоку по довжині траси призводить до різкого збільшення втрат тиску на тертя в транспортному трубопроводі. Тому рішення задачі з забезпеченню постійної швидкості повітряного потоку по довжині транспортного трубопроводу має велике практичне значення. Втрати тиску, викликані збільшенням швидкості руху потоку, можна зменшувати вирівнюванням абсолютного значення швидкостей повітряного потоку по всій довжині транспортного трубопроводу шляхом

поступового або ступеневого збільшення його діаметра в напрямку від повітрорудної машини до кінця трубопроводу.

2. В результаті аналіз руху потоку повітря та сипкого матеріалу в трубі пневмотранспортера встановлено, що мінімальною умовою для транспортування є умова, коли величина швидкості потоку у вертикальній трубі перевищує підтримуючу швидкість, а різниця між ними є значенням дійсної швидкості всіх частинок вантажу.

3. Теоретичний аналіз пневмотранспортерних установок нагнітальної дії дозволив визначити основні фактори, які впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів. Встановлено, що підтримуюча швидкість повинна бути такою, щоб її відношення до швидкості потоку повітря становила близько 0,6.

4. Визначені основні складові втрати тиску при переміщенні повітряного потоку: тертя повітря в трубі; втрати тиску, викликані прискоренням частинок вантажу; втрати тиску, викликані кількістю частинками вантажу в трубі.

5. Розроблена методика розрахунку основних параметрів установок пневмотранспорту нагнітального типу і визначені характеристики відцентрового вентилятора, залежності тиску на виході вентилятора від витрат повітря і залежність потужності, що споживається та потужності вентилятора, що витрачається від витрат повітря.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень процесу транспортування зерна за в пневматичному пневмотранспорті нагнітальної дії складена з метою визначення оптимальних параметрів і режимів роботи пневмотранспортної установки.

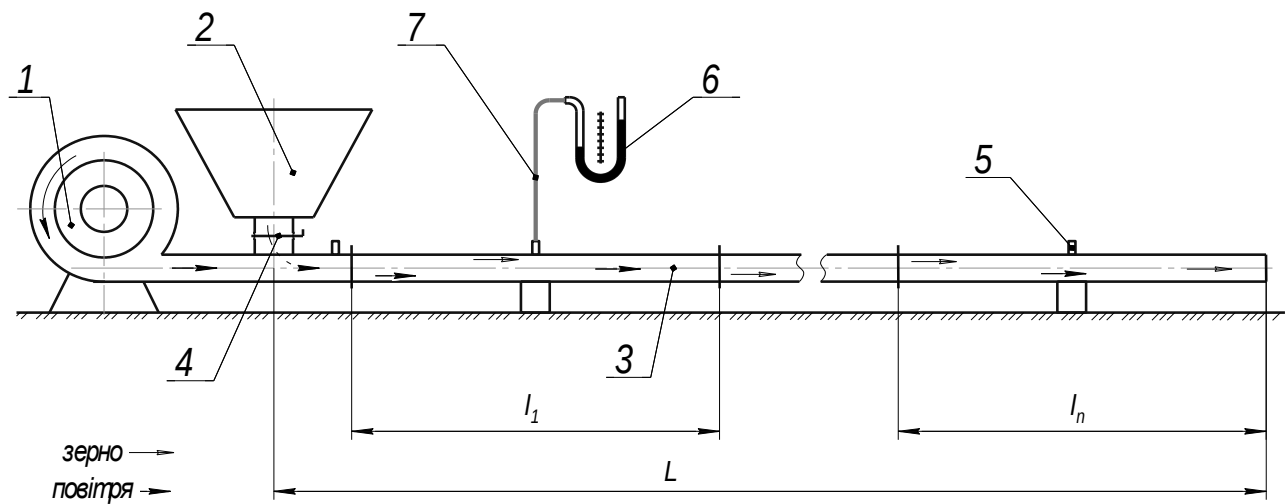
Програмою експериментальних досліджень передбачалась розробка експериментальної дослідної установки та дослідження її роботи під час транспортування зерна різних сільськогосподарських культур (пшениці, вівса, льону). Для виконання передбачених програмою робіт, необхідно забезпечити виконання наступних завдань:

1. Розробити експериментальний зразок пневмотранспортера.
2. Визначити характеристики нагнітальної установки.
3. Дослідити параметри потоку повітря в транспортному трубопроводі.
4. Визначити втрати тиску по довжині транспортного трубопроводу.
5. Дослідити вплив концентрації повітряно-зернової суміші на процес її транспортування.
6. Обґрунтувати оптимальні параметри транспортера та режим його роботи для різного зерна.

Для виконання програми експериментальних досліджень будуть використовуватися як стандартні так і розроблені методики та експериментальне обладнання.

3.2 Опис експериментальної установки

Для виконання експериментальних досліджень процесу транспортування зерна за допомогою пневматичного транспорту нагнітальної дії нами розроблено дослідну експериментальну установку. Її схема представлено на рис. 3.1.



1 – нагнітальна установка (відцентровий вентилятор); 2 – бункер;
3 – секція транспортного трубопроводу; 4 – заслінка; 5 – ніпель; 6 – U-подібний
манометр; 7 – шланг

Рисунок 3.1 – Технологічна схема експериментальної установки пневмотранспортера нагнітальної дії

Для створення потоку повітря в транспортному трубопроводі використовується нагнітальна установка 1 у вигляді відцентрового вентилятора діаметром $D_v = 250$ мм, який бере привід від електродвигуна змінного струму з частотою обертання ротора $n_e = 750$ об/хв. та споживаною потужністю $P_e = 0,55$ кВт.

Транспортним каналом є пластмасовий трубопровід 3 діаметром $d_m = 50$ мм. Він формується з ланок довжиною $l = 1000$ мм.

Між вентилятором і трубопроводом встановлено трійник, в який встановлений бункер для зерна 2. Подача зерна з бункера 2 в середину транспортного трубопроводу 3 за допомогою заслінки 4.

Загальний вигляд експериментальної установки представлено на рис. 3.2.

Для пуску електродвигуна нагнітальної установки разом з вмикачем використовується пусковий конденсатор.

Загальний вигляд змонтованої експериментальної установки у робочому положення представлено на рис. 3.3.



1 – нагнітач повітря (радіальний вентилятор); 2 – вузол подачі насіння; 3 – секції транспортуючого трубопроводу; 4 – вмикач вентилятора; 5 – рідинний U-подібний манометр; 6 – анемометр UT 362

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд експериментальна установка

Для вимірювання статичного тиску повітряного потоку в середині нагнітального трубопроводу 3 в його секціях встановлені ніпелі 5 для під'єднання U-подібного манометра 6 за допомогою шланга 7 (рис. 3.1).

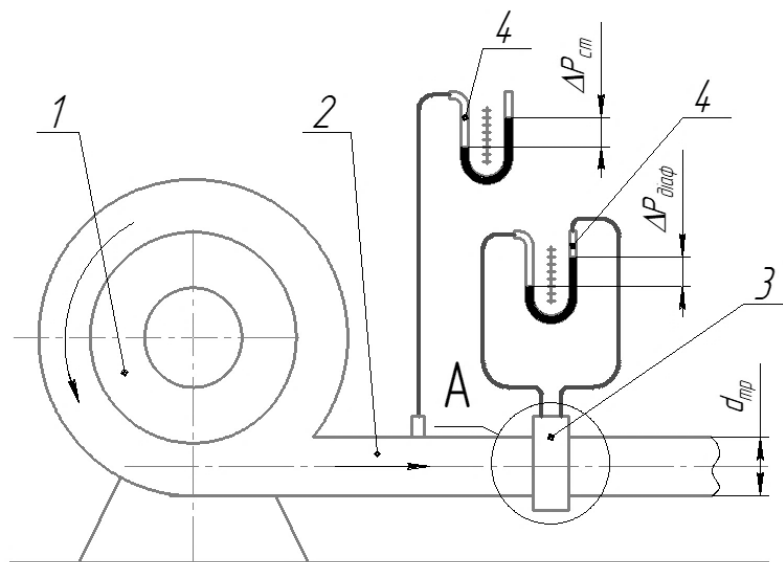
3.3 Методика знімання характеристики вентилятора

Схема експериментальної установки показана на рис. 3.4.

Вимірювання та зміна витрати повітря в установці здійснюється за допомогою набору діафрагм, які мали різний перетин отвору для проходження повітря. Для встановлення діафрагм використовують вузол діафрагми 3 (рис. 3.5).

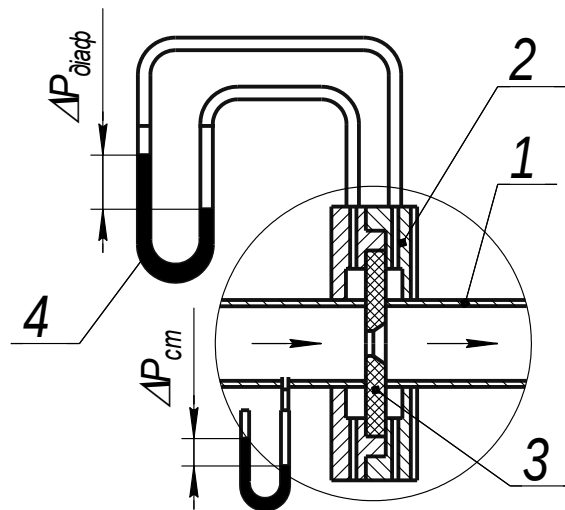
Діафрагма в корпусі встановлюється в замок фаскою в напрямку руху повітря.

Під час досліджень визначався статичний тиск повітря $P_{ст}$ та перепад тиску в діафрагмі $\Delta P_{diaф}$. За цими параметрами визначаються всі інші характеристики вентилятора.



1 – вентилятор; 2 – трубопровід; 3 – корпус діафрагми; 4 – рідинний U-подібний манометр

Рисунок 3.4 – Схема установки для зняття характеристик вентилятора



1 – труба; 2 – корпус діафрагми; 3 – діафрагма; 4 – рідинний U-подібний манометр

Рисунок 3.5 – Вузол встановлення діафрагми

Для розрахунків необхідно перевести результати вимірювань тиску ($\Delta P_{\text{діаф}}$, $P_{\text{ст}}$, $P_{\text{бар}}$) у відповідність системі СІ за наступними співвідношенням:

1 мм вод. ст. = 9,81 Па;

1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

Густина повітря визначається з виразу:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha \cdot t_{\text{пов}}} \cdot \frac{P_a}{P_0} \quad (3.1)$$

де $P_a = P_{\text{бар}} + P_{\text{ст}}$ – абсолютний статичний тиск на виході з вентилятора, Па;

$$\alpha = \frac{1}{273} K^{-1} \quad (3.2)$$

де K^{-1} – коефіцієнт об'ємного розширення газу;

$P_0 = 101325$ Па (760 мм рт. ст.) – нормальний атмосферний тиск;

$\rho_0 = 1,293$ кг/м³ – густина повітря при нормальних умовах.

Витрата повітря становитиме:

$$V = \beta \cdot \frac{\overline{\Delta P_{\text{діаф}}}}{\rho_{\text{пов}}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.3)$$

де β – коефіцієнт труби.

Швидкість повітря на виході з вентилятора в повітропроводі діаметром $d_{\text{тр}} = 0,05$ м:

$$W = \frac{V}{F}, \text{ м/с} \quad (3.4)$$

де $F = \pi d^2/4 = 0,00196 \text{ м}^2$ – площа поперечного перерізу трубопроводу.

Динамічний тиск повітря на вихлопі:

$$P_{\text{дин}} = \frac{W_{\text{вих}}^2 \cdot \rho_{\text{пов}}}{2}, \text{ Па} \quad (3.5)$$

Повний тиск повітря на вихлопі визначаємо як:

$$\Delta P_{\text{пов}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}}, \text{ Па.} \quad (3.6)$$

Потужність, яку споживається вентилятором (за показниками електро вимірювальних приладів)

$$N_{\text{ел}} = I \cdot U \cdot \cos \varphi, \text{ Вт,} \quad (3.7)$$

де $\cos \varphi = 0,84$.

Робоча потужність становитиме:

$$N_{\text{роб}} = N_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{ел}}, \text{ Вт} \quad (3.8)$$

де $\eta_{\text{ел}} = 0,9$.

Корисна потужність, яка використовується вентилятором:

$$N_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{пов}} \cdot V, \text{ Вт.} \quad (3.9)$$

Повний ККД вентилятора становитиме:

$$\eta_{\text{пов}} = \frac{N_{\text{кор}}}{N_{\text{роб}}} \quad (3.10)$$

За експериментально визначеними значеннями та розрахують $\Delta P_{\text{пов}}$, $P_{\text{ст}}$, $P_{\text{дин}}$, $N_{\text{ел}}$, $N_{\text{роб}}$, $N_{\text{кор}}$, $\eta_{\text{пов}}$ і будують експериментальну характеристику вентилятора.

3.4 Методика визначення концентрації суміші в трубопроводі транспортера

Одним з основних показників, які впливають на процес пневматичного транспортування сипучих матеріалів, є насиченість повітря частками матеріалу, тобто концентрація суміші.

Для визначення вагової концентрації суміші за формулою (1.8) експериментальними дослідженнями передбачалось визначення кількості зерна, яка поступає в трубопровід з бункера за одиницю часу при різних положеннях заслінки (рис. 3.6).

В процесі досліджень в бункер транспортера засипалась наважка зерна масою 1 кг. Заслінка відкривалась на встановлену величину і фіксувався час висипання зерна з бункера. Витрата матеріалу визначалась, як:

$$Q_m = \frac{m_m}{t}, \text{ кг/год.} \quad (3.11)$$

Для визначення вагової концентрації суміші за формулою (1.8) витрату транспортного повітря за одиницю часу приймаємо з п. 3.4 за формулою (3.4).

Об'ємну концентрацію матеріалу визначаємо за формулою (1.9).

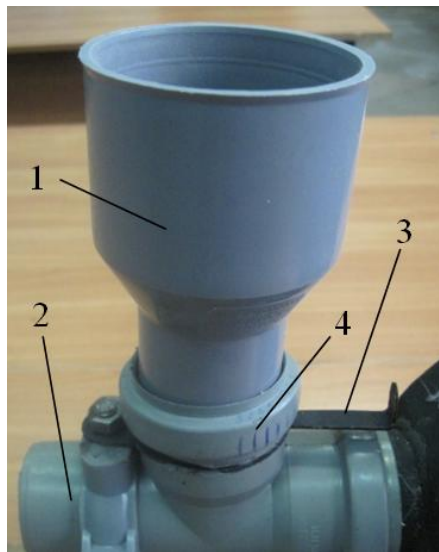


Рисунок 3.6 – Вузол дозування насіння в транспортуєчий канал

3.5 Методика визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі

Процес визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі передбачає визначення зміни швидкості повітряного потоку по мірі віддалення від нагнітальної установки. Також програмою досліджень передбачалось визначення зміни тиску в трубопроводі по його довжині.

Для визначення швидкості повітряного потоку використовувався лопатевий анемометр UT-362 з виносною крильчаткою та можливістю під'єднання до комп'ютера (рис. 3.11).

Технічна характеристика анемометра UT-362 наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика анемометра UT-362

№	Показник	Значення	Похибка, %
1	Швидкість повітряного потоку, м/с:	0...10	3
		10...30	5
2	Повітряний потік, м ³ /хв	0,001...9999	-
3	Температура анемометра, °С	0...90	3
4	Температура лопатей, °С	0...90	3

Прилад дозволяє отримувати з достатньою точністю значення швидкості повітряного потоку на вході і виході із нагнітача повітря. Похибка вимірювань не перевищує 5 %.

В процесі вимірювань швидкості повітряного потоку анемометр почергово встановлювали на кінцях секцій повітропроводу. Результати вимірювань знімали за показами цифрових індикаторів на табло анемометра (рис. 3.11, в).



а – на початку транспортного трубопроводу; б – вздовж транспортного трубопроводу; в – екран анемометра UT 362; 1 – анемометр; 2 – виносна крильчатка; 3 – індикатор швидкості; 4 – індикатор температури

Рисунок 3.11 – Визначення швидкості повітряного потоку

Для визначення залежності зміни тиску в середині трубопроводу по його довжині використовували U-подібні рідинні манометри з межами вимірювань 100 мм. рід ст. та 380 мм рід ст. (рис. 3.12, б). Манометр приєднували до ніпелів, встановлених в трубопроводі.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Вимірювання статичного тиску в трубопроводі пневмотранспортера

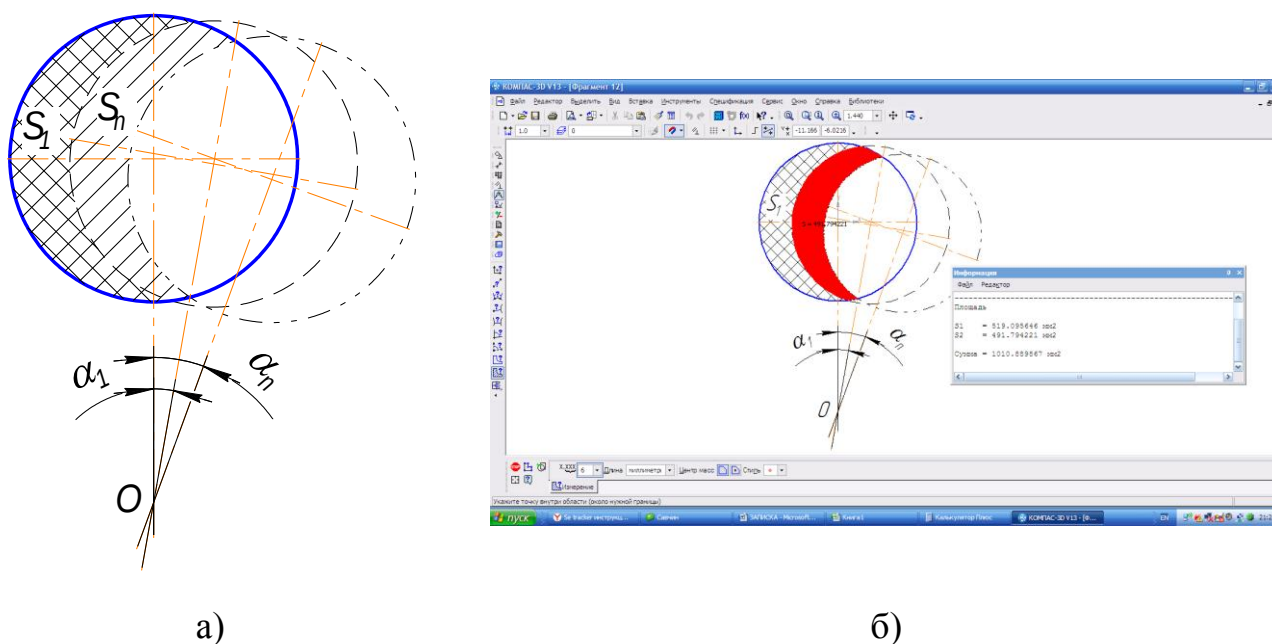
3.6 Висновки з розділу

В даному розділі визначено програму та методику експериментальних досліджень з визначення раціональних режимних параметрів пневмотранспортеру компонентів комбікормів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ

4.1 Результати визначення продуктивності дозуючого пристрою

Визначення площі отвору, через який подається насіння виконували графічним методом в середовищі КОМПАС-3D V 16 (рис. 4.1).



а – схема; б – вікно середовища КОМПАС-3D V 16

Рисунок 4.1 – Визначення площі перетину вихідного отвору дозатора насіння

На рисунку 4.2 представлені результати визначення продуктивності дозуючого пристрою для різних компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза).

Вища продуктивність дозуючого пристрою спостерігається для насіння пшениці, потім ячменю і кукурудзи. Це зумовлено фізико-механічними властивостями насіння, а саме коефіцієнтом внутрішнього тертя та кутом природного відкосу.

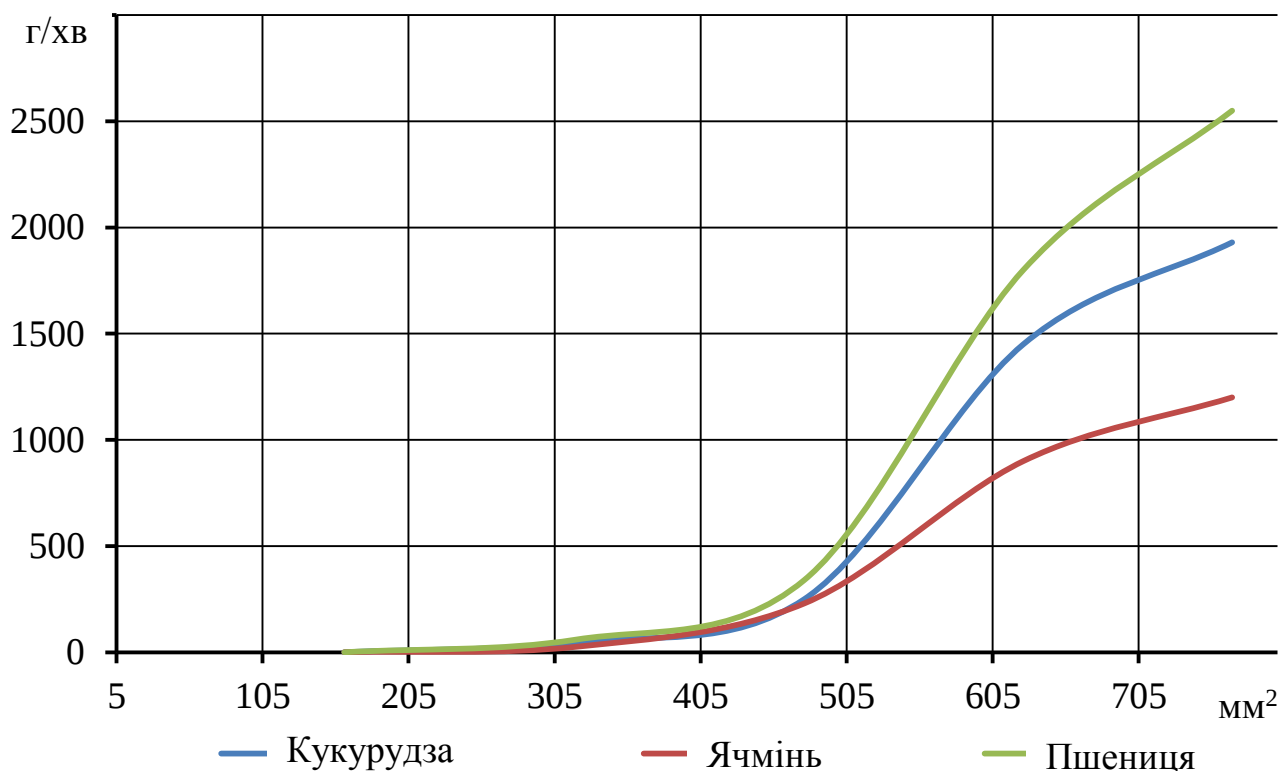


Рисунок 4.2 – Результати визначення продуктивності дозуючого пристрою

4.2 Результати визначення концентрації суміші в трубопроводі транспортера

В результаті досліджень встановлена залежність концентрації суміші від подачі зерна в трубопроводі, яка представлена на рис. 4.3.

Аналізуючи рис. 4.3 можемо зробити висновок, що продуктивність дозуючих пристроїв також впливає на об'ємну концентрацію суміші в середині трубопроводу.

Також під час досліджень з'ясувалось, що для дослідного пневмотранспортера з діаметром трубопроводу $d = 50$ мм і витратою повітря вентилятором $Q_g = 1,2$ м³/хв. максимально-допустима концентрація насіння становить:

- під час транспортування – $0,28$ м³/м³;
- під час вівса – $0,32$ м³/м³;
- під час транспортування льону – $0,35$ м³/м³.

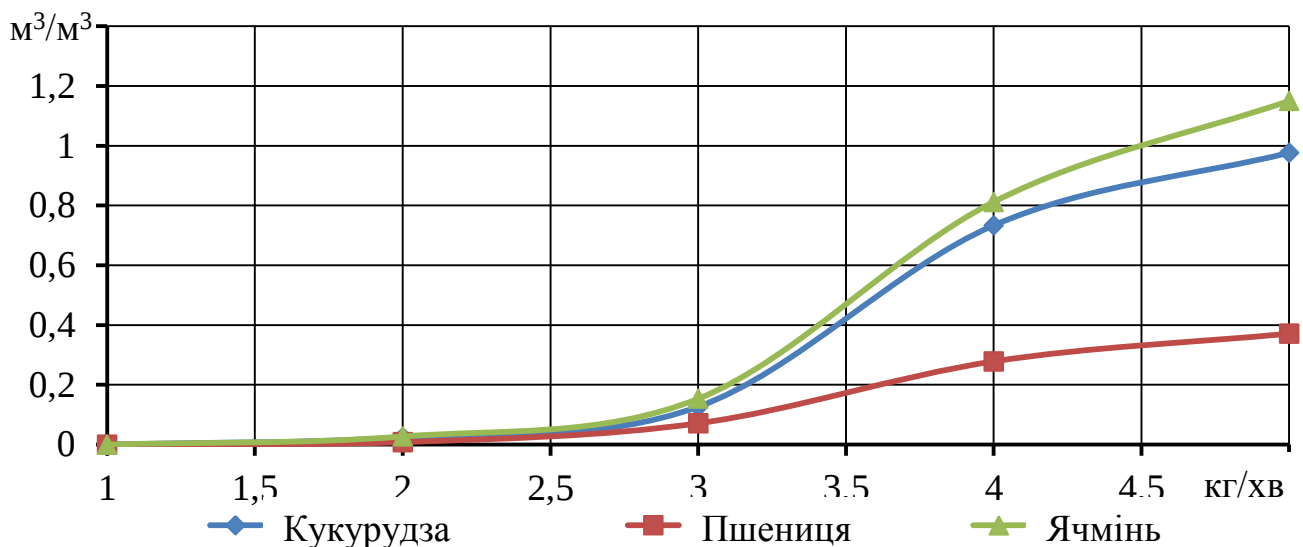


Рисунок 4.3 – Криві об'ємної концентрації суміші

4.3 Результати визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі

Результати вимірювання швидкості повітряного потоку приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювання швидкості повітряного потоку

Точка вимірювання	Довжина трубопроводу	Середня швидкість повітряного потоку, м/с	Середньоквадратичне відхилення
1	12,3	12,24	0,0036
	12,58		0,1156
	11,84		0,16
2	11,06	10,9	0,0256
	10,42		0,2304
	11,22		0,1024
3	10,56	10,35	0,0441
	10,33		0,0004
	10,16		0,0361
4	9,84	9,85	0,2601
	9,76		0,0081
	9,95		0,01
5	9,26	8,75	0,2601
	8,73		0,0004
	8,26		0,2401

За даними табл. 4.1. побудована залежність, яку представимо на рисунку 4.4.

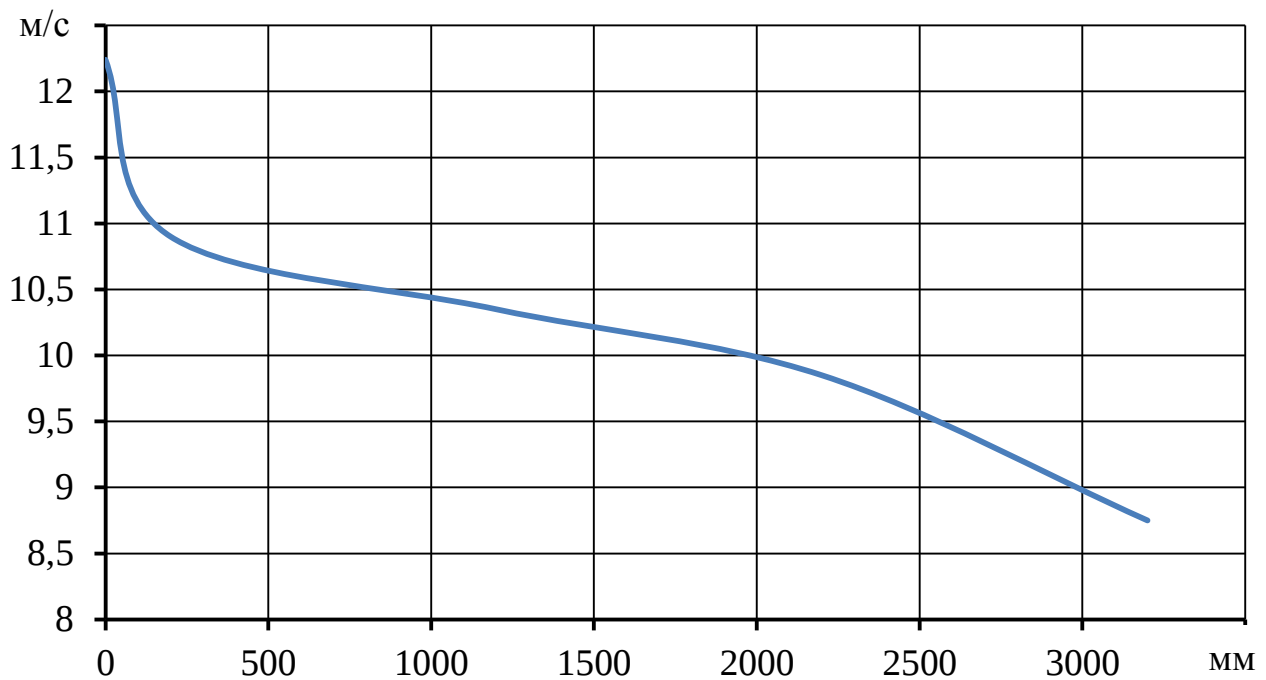


Рисунок 4.4 – Крива зміни швидкості повітряного потоку по довжині трубопроводу

Аналізуючи дані табл. 4.1 та рис. 4.4 бачимо, що на початку транспортуючого каналу швидкість повітряного потоку різко спадає. Це явище відбувається на короткій ділянці між випускним отвором вентилятора та першою секцією трубопроводу. В цьому місці встановлено завантажувальний бункер з дозуючим пристроєм. На цій ділянці рівній 200 мм швидкість знижується на 1...1,3 м/с, що у відсотковому співвідношенні становить близько 50 % на 1 м.

Далі спостерігається плавний спад швидкості потоку по довжині трубопроводу.

На першому етапі досліджень визначали зміну тиску повітряного потоку по довжині трубопроводу транспортера (рис. 4.5).

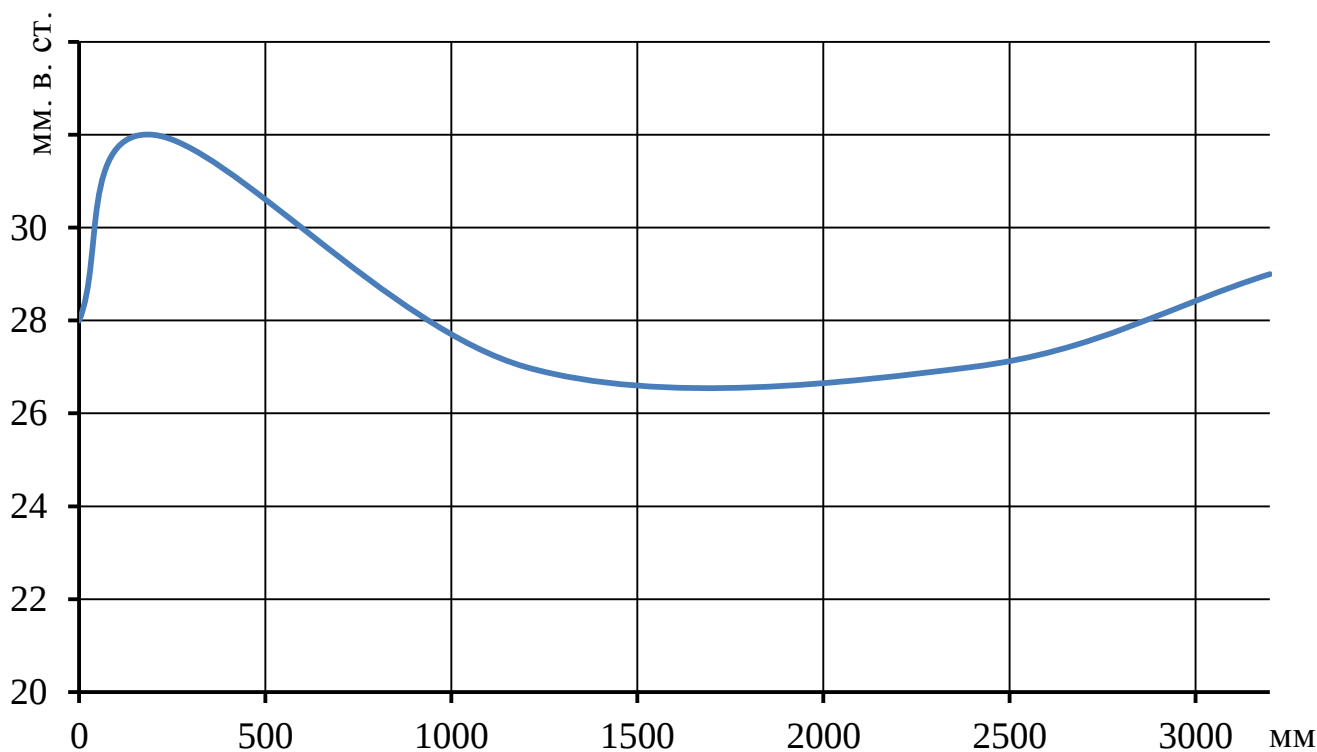


Рисунок 4.5 – Крива зміни статичного тиску в середині трубопроводу пневмотранспортера

Зростання тиску на початку трубопроводу зумовлене зменшенням перерізу пневмоканалу в місці звуження корпусу вентилятора. Далі по всій довжині трубопроводу тиск майже не змінювався. В кінці трубопроводу тиск зростає на 10...15 %.

Наступним етапом було визначення тиску в трубопроводі під час транспортування різних видів зерна за різної концентрації зерно-повітряної суміші. Для дослідів використовували насіння пшениці, вівса та льону. Концентрацію зернової суміші забезпечували згідно результатів, отриманих в п. 4.2. Результати досліджень наведені в табл. 4.2.

Аналізуючи дані табл. 4.2. та рис. 3.15...3.17 бачимо, що на початку трубопроводу тиск зростає через зменшення площі вихідного вікна та створення додаткового опору вхідним потоком насіння. На ділянці після дозатора тиск спадає. Причиною цього є підсмоктування повітря через дозувальний пристрій разом з насінням.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження тиску в середині трубопроводу (мм. рід. ст.) пневмотранспортера за різної концентрації насіннево-повітряної суміші

Подача насіння, г/хв	Довжина трубопроводу, мм				
	0	200	1200	2400	3200
1	2	3	4	5	6
Кукурудза					
0	28	32	27	27	29
48	28	30	24	22	25
250	29	27	22	21	20
1450	30	25	21	20	19
1930	32	21	18	16	15
2380	37	16	14	14	13
Пшениця					
0	28	32	27	27	29
26	28	32	28	27	27
230	29	32	29	28	27
900	29	32	29	27	26
1200	30	33	31	30	29
1520	31	33	28	26	26
1810	32	34	27	25	24
2340	32	35	25	18	15
Ячмінь					
1	2	3	4	5	6
0	28	32	27	27	29
60	28	32	28	27	27
340	29	32	29	28	27
1800	29	32	29	27	26
2550	30	33	31	30	29

За даними табл. 4.2. побудовано залежності (рис. 4.6 – 4.8).

Різке падіння тиску свідчить про забивання трубопроводу транспортуємим матеріалом. Це визначає максимальну подачу дозуючого пристрою та концентрацію суміші.

Для насіння кукурудзи забивання трубопроводу відбувається при подачі насіння Q_n понад 1500 г/хв. Під час транспортування насіння пшениці максимально допустима подача становить до 2000 г/хв. Насінням ячменю трубопровід забивається за подачі 1800 г/хв.

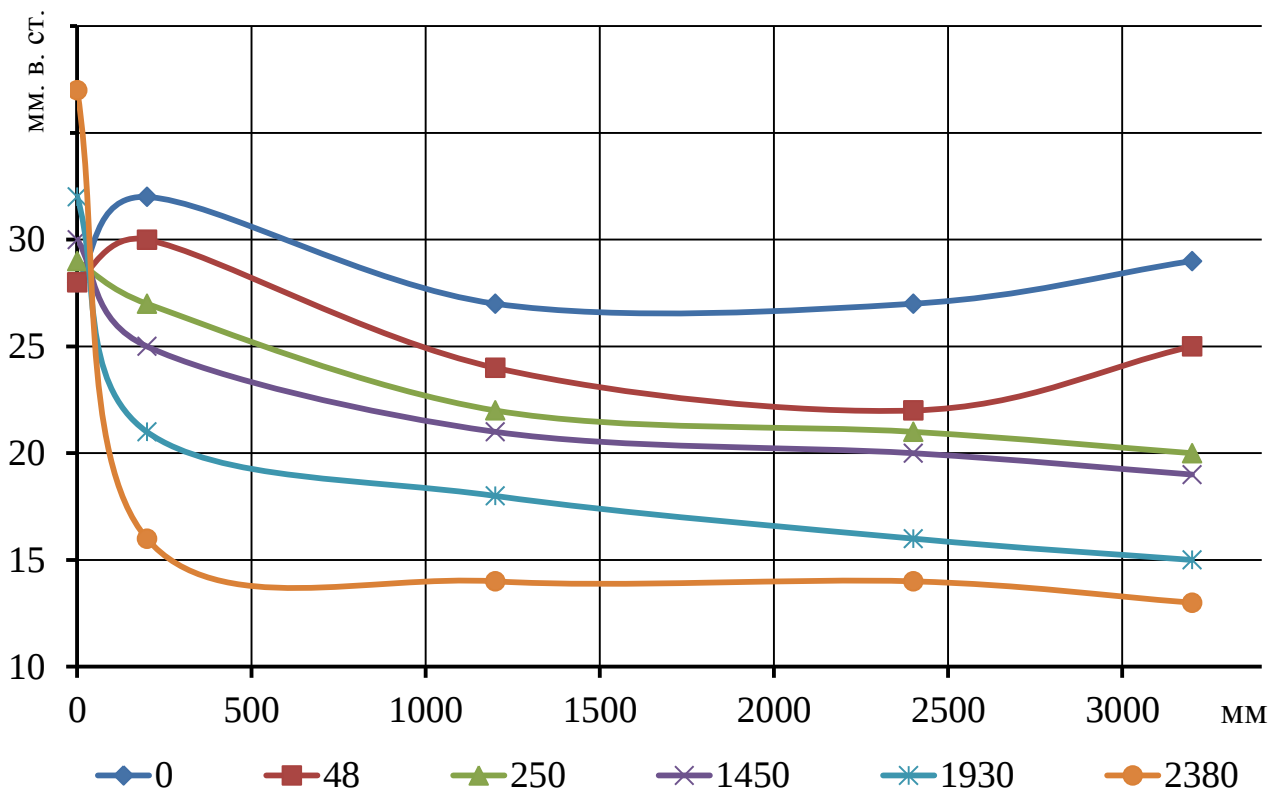


Рисунок 4.6 – Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування кукурудзи

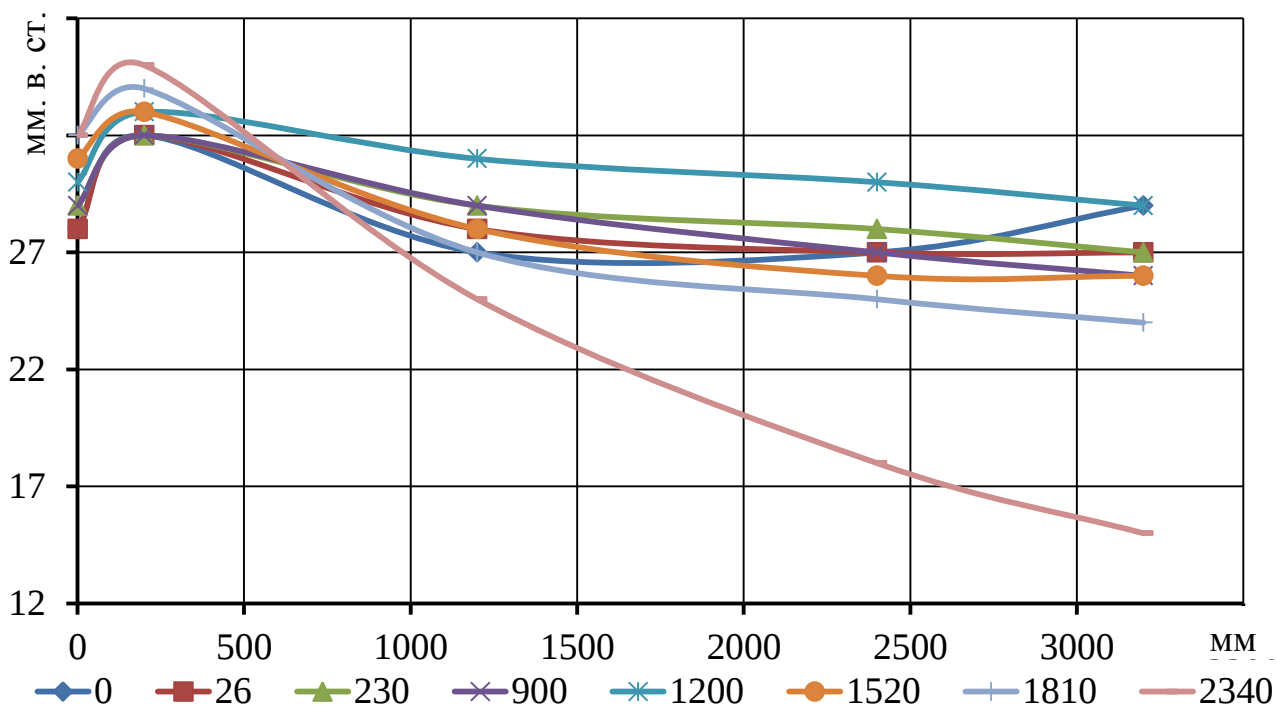


Рисунок 4.7 – Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування пшениці

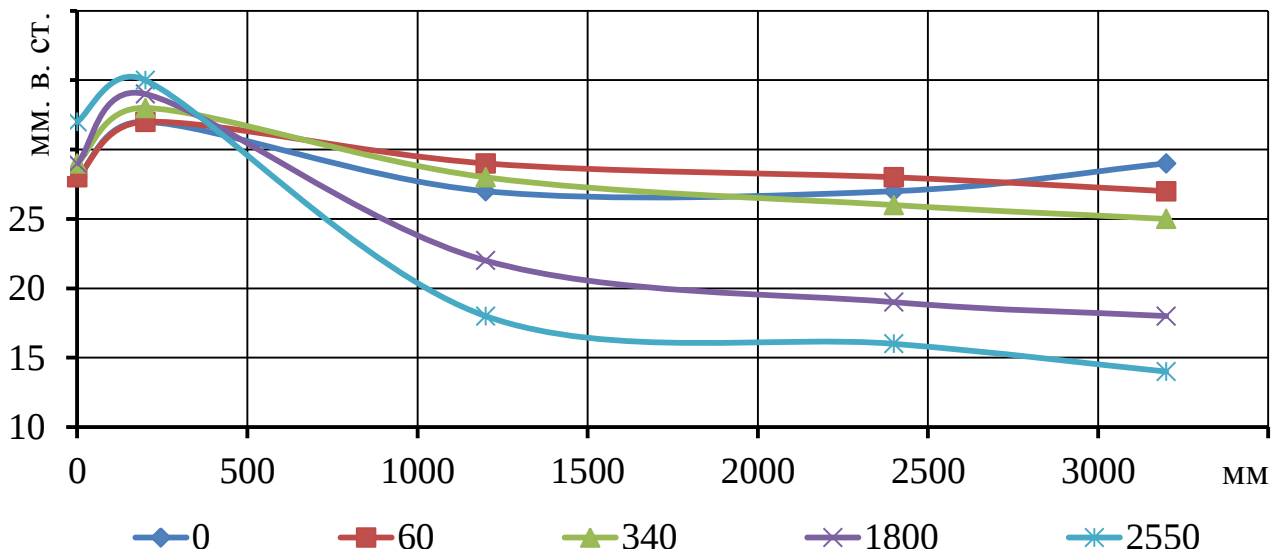


Рисунок 4.8 – Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування ячменя

4.4 Висновки з розділу

1. В результаті експериментальних досліджень встановлена калібрувальна залежність продуктивності дозуючого пристрою для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза).

2. В результаті експериментальних досліджень встановлена залежність концентрації суміші від подачі зерна в трубопроводі для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза).

3. В результаті експериментальних досліджень встановлені криві зміни швидкості повітряного потоку і статичного тиску пневмотранспортера по довжині трубопроводу під час транспортування різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). Результати дослідження повітряного потоку на експериментальній установці показали зміну його швидкості по довжині трубопроводу в середньому 1 м/с на 1 м трубопроводу.

4. Встановлено граничну концентрацію суміші та продуктивність живильних пристроїв. Для кукурудзи максимальна подача становить 1500 г/хв. Під час транспортування насіння пшениці максимально допустима подача становить до 2000 г/хв., а для насінням ячменю – 1800 г/хв.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Поняття охорони праці і аналіз можливих чинників аварійних ситуацій

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [45, 46].

Під час виконання робіт люди здатні переносити ушкодження без наслідків лише тоді, коли не перевищують певних меж. Для кожної людини ці межі індивідуальні, і залежать від фізичного здоров'я кожного працівника, а також від його психічного здоров'я. За межами цих рівнів і тривалості виникає не зворотне пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Поміж різних небезпечних чинники [47], які можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі і небезпечні виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник – це такий, дія якого на працюючих у певних умовах призводить до травми, тривалого каліцтва або іншого раптового погіршення здоров'я.

Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму дозволяє виявити причини і визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики виробничого травматизму.

5.2 Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонезбезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події.

Початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) виявляють у процесі

обстеження об'єктів виробництва [48], а проміжні та кінцеві входять до схеми на основі логічного аналізу можливих варіантів перебігу події.

Слід зауважити, що поняття «початкові події» введено умовно, бо насправді цим подіям можуть передувати інші. Але вони першими помічаються при обстеженні робочих місць та інших об'єктів виробництва.

Якщо на схемах, що зображують процеси протікання (перебігу) випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються.

Таблиці 5.1 – Аналіз процесів формування та виникнення
травмонебезпечних і аварійних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Транспорту- вання зерна	НУ ₁ - порушення ізоляцій. НУ ₂ - відсутність заземлення	НД- Поява струму на корпусі транспортера	НС- Контакт працівника з струму ведучими частинами транспортера	Т- ураження струмом	Заземлення струмоведучих частин і якісна їх ізоляція
НУ ₁ → НУ ₂ → НД→ НС→ Т					
Транспорту- вання зерна	НУ- відсутність захисних кожухів вентилятора	НД- знаходження працівника в зоні обертових вентилятора	НС- захоплення одягу обертовими частинами	Т-травми.	Огородження обертових частин кожухами
НУ→ НД→ НС→ Т					
Транспорту- вання зерна	НУ-не щільність транспортної системи	НД- розсипання транспортно- ного матеріалу	НС-падіння працівника	Т-травми.	Забезпечення герметичності транспортера
НУ → НД→ НС→ Т					

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. Статистично залежні події – це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, може з'явитися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) події.

Зданої таблиці видно декілька небезпечних ситуацій, як ті ситуації можна уникнути.

5.3 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час транспортування зерна пневмотранспортером

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов і помилок працівників (операторів) різних систем. Потрібно вести математичну обробку даних, з метою одержання ймовірності виникнення травматичних випадкових подій. Розрахунки спрямовані на зниження нещасних випадків на виробництві.

Вивчаючи модель процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію (явище), що є причиною травмонебезпечних та аварійних ситуацій. Розглянемо випадок виробничого травматизму під час транспортування зерна. У даному випадку відбувається травма працівника, внаслідок порушення ізоляцій або відсутність заземлення [49-53]. Головну подію розміщують у верхній частині аркуша паперу і зверху донизу розміщують інші події. У побудованій моделі базові події мають форму круга. Нерозкриті базові

події зображують у вигляді ромба, прямокутник подія, що виникає як результат дії символу.

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу у вгору починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення подій вказуємо безпосередньо на символи зображення події. Ймовірності виробничих подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “охорона праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкт. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20 або 30 %, то ймовірність відповідно становить 0,2 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень.

Ймовірність подій P_3 визначаємо наступним чином

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0.3 + 0.2 - 0.3 \cdot 0.2 = 0.44 \quad (5.1)$$

Ймовірність подій P_6

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0.3 + 0.2 - 0.3 \cdot 0.2 = 0.44 \quad (5.2)$$

Ймовірність подій P_7

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0.44 + 0.44 - 0.44 \cdot 0.44 = 0.69 \quad (5.3)$$

Ймовірність подій P_9

$$P_9 = P_8 \cdot P_7 = 0.4 \cdot 0.69 = 0.28 \quad (5.4)$$

Ймовірність подій P_{12}

$$P_{12} = P_{10} + P_{11} - P_{10} \cdot P_{11} = 0.2 + 0.3 - 0.2 \cdot 0.3 = 0.44 \quad (5.5)$$

Ймовірність подій P_{15}

$$P_{15} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0.3 + 0.05 - 0.3 \cdot 0.05 = 0.335 \quad (5.6)$$

Ймовірність подій P_{16}

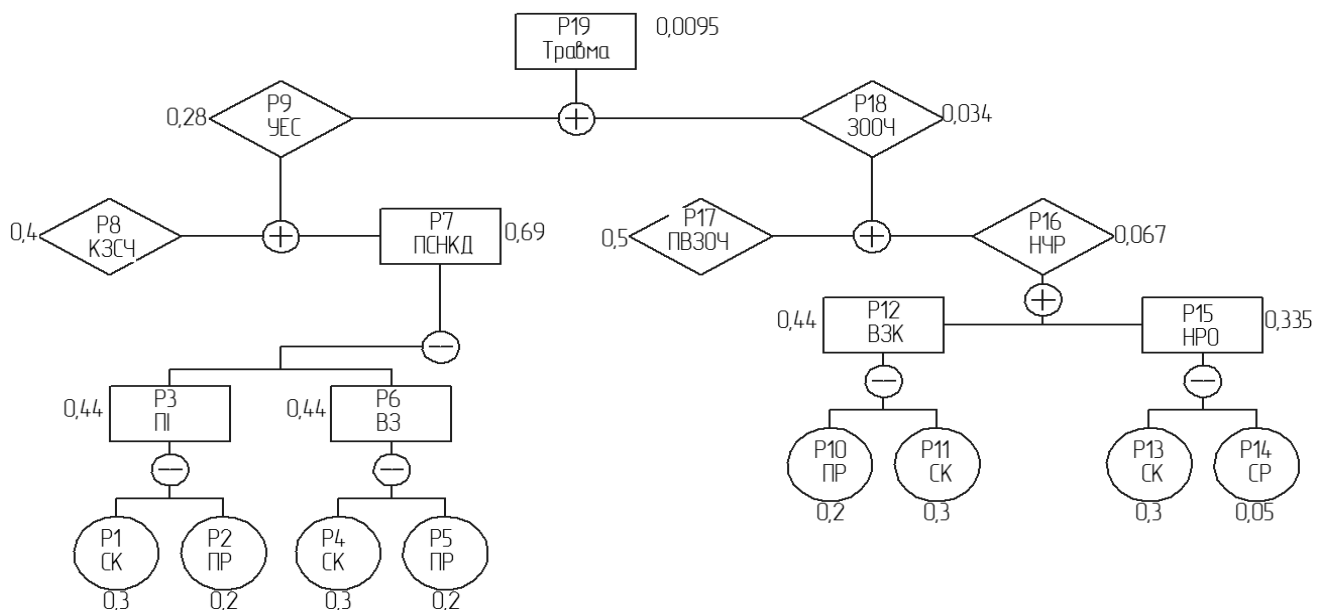
$$P_{16} = P_2 \cdot P_{15} = 0.2 \cdot 0.335 = 0.067 \quad (5.7)$$

Ймовірність подій P_{18}

$$P_{18} = P_{17} \cdot P_{16} = 0.5 \cdot 0.067 = 0.034 \quad (5.8)$$

Ймовірність подій P_{19}

$$P_{19} = P_9 \cdot P_{18} = 0.28 \cdot 0.034 = 0.0095 \quad (5.9)$$



СК – стан контролю; ПР – професійний рівень; СР – стан робітника; ПІ – пошкодження ізоляції; ВЗ – Відсутність заземлення; ВЗК – відсутність захисних кожухів; НРО – невідповідність робочого одягу; НУР – Небезпечні умови роботи; ПВЗОЧ – поява в зоні обертових частин; ЗООЧ – захоплення одягу обертовими частинами; ПСНКТ – поява струму на корпусі транспортера; КЗСЧ – контакт з струмоведучими частинами; УЕС – ураження електричним струмом

Рисунок 5.1 – Модель процесу формування та виникнення аварій і травм

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Таким чином, на робочому місті під час транспортування зерна пневматичним транспортером нагнітальної дії, при існуючих небезпеках і небезпечних діях на 100 транспортерів ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,95.

5.4 Розробка заходів по запобіганню аварій і травм в процесі транспортування зерна

Ця інструкція встановлює вимоги з охорони праці для машиністів, що працюють на установках пневмотранспорту і призначена для навчання методам безпечної роботи і дотриманню вимог охорони праці. Постійне робоче місце – склад. Режим роботи – безперервний. Машиніст виконує операції обслуговування пневмотранспортера.

До роботи машиністом допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та не мають медичних протипоказань, вступний інструктаж, спеціальне навчання, перевірку знань у постійно діючій комісії з питань охорони праці, первинний інструктаж, стажування для придбання навичок безпечного ведення виробничих процесів протягом 2-15 змін (залежно від стажу, досвіду і характеру роботи), мають I кваліфікаційну групу допуску з електробезпеки [56].

Машиніст зобов'язаний:

- додержувати зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства;
- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;
- співробітничати з власником у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або людей, які його оточують, і навколишньому природному середовищу, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу;
- утримувати в порядку і чистоті своє робоче місце;
- дотримувати встановленого протипожежного режиму;
- не користуватися відкритим вогнем.
- вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних

випадках;

- знати і виконувати вимоги даної інструкції, правила виробничої санітарії, правила поводження з машинами, устаткуванням і іншими засобами виробництва;
- не знаходитися на території в нетверезому стані, не вживати спиртні напої та наркотичні речовини;
- курити і приймати їжу тільки в спеціально відведених місцях (зазначити конкретно);

Небезпечними виробничими чинниками на робочому місці оператора можуть бути [55]:

- Деталі устаткування, що рухаються і обертаються: з'єднувальні муфти електроприводів і робочих органів устаткування, шківи, кінці валів, що виступають і інші деталі, що обертаються, де можливі захоплення і намотування одягу, волосся.

- Вентилятор нагнітача повітря, при попаданні в зону якого відбувається захоплення кінцівок.

- Ураження електричним струмом.

Шкідливими виробничими чинниками на робочому місці можуть бути:

- Підвищений вміст пилу (до 6 мг/м^3) яке може викликати алергічну реакцію або захворювання пневмоконіозами.

- Підвищений рівень шуму (ГДР – 80 дБА), що негативно впливає на нервову і серцево-судинну системи.

- Підвищена температура, особливо в літній період року (по нормі-16-27°C).

- Шкідливі та небезпечні фактори конкретизуються згідно результатів атестації робочих місць.

Для усунення можливості впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників передбачено наступне.

Огородження всіх частин і деталей машин, які обертаються, і пасових передач, інших небезпечних зон, знімати і працювати при відсутності яких забороняється.

Вивішування попереджувальних знаків безпеки на всіх пускачах для попередження випадкового пуску устаткування, що знаходиться в ремонті, наладці або очистці.

Для попередження ураження електрострумом усі частини електроустаткування, що можуть виявитися під напругою, оснащені захисним заземленням-зануленням. Всі відкриті струмоведучі частини щитів, пускачів закриті запірними устроями, відчиняти які можуть тільки особи електротехнічного персоналу.

Від падіння працівників на підлозі й інших шляхах переміщення використане покриття, що не сковзає, і застосовується спеціальне взуття.

Правила особистої гігієни [54]:

- залишайте всі особисті речі і верхній одяг у влаштованих для цього місцях;

- приймайте їжу тільки у спеціально влаштованих для цього місцях.

- при відвідуванні туалету залишайте санодяг у тамбурі, при виході

- вимийте руки водою, ополосніть дезінфікуючим розчином і водою.

При одержанні травми треба негайно звернутися в медпункт і повідомити свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу про нещасний випадок, що трапився, і причини, що викликали травму. При травмі співробітників надати допомогу, повідомити у медпункт.

Машиніст повинний користуватися виданим йому санітарним одягом (х/б сорочка, брюки, рушник, фартух, тапочки), брудний одяг вчасно здавати в прання.

За порушення вимог даної інструкції працівник притягається до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної та кримінальної відповідальності згідно з законодавством України.

Вимоги безпеки перед початком роботи.

Прийом і здавання зміни при безперервній роботі провадиться за 15 хвилин до початку зміни.

Приступаючи до роботи необхідно:

Надіти спецодяг [57] і привести його в порядок, волосся сховати під

головний убір.

Перевірити справність устаткування і пускачів включенням на холостому ході. При роботі не повинно бути сторонніх стукотів і підвищеної вібрації.

Перевірити наявність і справність пристосувань: шкребків, щіток, табличок "Не вмикати ! Працюють люди !".

Прибрати сторонні предмети з робочого місця і шляхів переміщення, переконатися у відсутності речовин, що викликають ковзання.

Перевірити наявність та справність первинних засобів пожежогасіння.

При виявленні несправностей і відмов устаткування, не приступайте до роботи, повідомте свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу. Не виконувати самостійно ремонт, наладку устаткування.

Перед запуском у роботу устаткування переконайтеся, що при його пуску не виникне небезпека для інших працівників, що можуть виявитися в небезпечних зонах.

Вимоги безпеки під час виконання роботи.

Щоб запобігти травмуванню і виникненню травмонебезпечних ситуацій, треба дотримуватися таких вимог:

- не залишайте працююче устаткування без нагляду і не допускайте до роботи на ньому сторонніх осіб, без дозволу керівника;

- працюйте на справному устаткуванні, при виявленні несправностей повідомте безпосереднього керівника робіт;

- не працюйте на устаткуванні зі знятими або не справними захисними засобами травмонебезпечних зон;

- не відчиняйте дверці електрошаф і не ремонтуйте електроустаткування, не наступайте на електропроводи;

- не включати устаткування при обірваних або видимих пошкодженнях захисного заземлення (занулення);

- не виконуйте роботи, які не входять у ваші обов'язки;

- будьте уважними до сигналів внутрішнього цехового транспорту.

При необхідності видалення сировини з трубопроводу, зупиніть привід,

повісьте на пускач табличку "Не вмикати! Працюють люди !" і прочистіть трубопровід.

При попаданні на підлогу сировини своєчасно їх збирати в спеціальну ємність.

Про всі недоліки у роботі устаткування, нещасні випадки, що трапилися з Вами або співробітниками, факти порушення технологічного процесу повідомте свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу, зробіть відповідний запис у змінному журналі.

Вимоги безпеки після закінчення роботи.

Перед зачищенням і прибиранням устаткування необхідно наступне.

Зупинити устаткування кнопкою "Стоп".

Повісити на пускачі табличку "Не вмикати ! Працюють люди!".

Використовувати для очищення тільки спеціальні шкребки, щітки і мітли.

При вологому прибиранні устаткування не допускайте попадання води в пускову апаратуру.

По закінченні очищення та прибирання установіть всі огороження, інструмент і пристосування на встановлені місця.

Прийняти душ, сан одяг скласти в шафу.

Про усі виявлені порушення в процесі роботи повідомити свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу і змінного машиніста.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

Аварійною ситуацією є обставини, розвиток яких може призвести до серйозних поломок устаткування, руйнації будівельних конструкцій, пожежам, травмуванню або загибелі людей. Такими ситуаціями на робочому місці можуть бути:

- сторонні звуки, удари при роботі устаткування, його підвищена вібрація;
- поява напруги на поверхні устаткування;
- поява диму, іскріння, загоряння обмоток електродвигунів, електропроводки, пускової апаратури.

При зазначених ознаках обезструмте устаткування і повідомте свого

безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

При загорянні електроустаткування використовувати тільки вуглекислотні або порошкові вогнегасники, що знаходяться (зазначити місце) [58].

Для гасіння інших осередків пожежі користуватися пінними вогнегасниками, що знаходяться (зазначити місце).

При ситуаціях які безпосередньо загрожують життю і здоров'ю - неконтрольоване горіння, руйнація будівельних конструкцій або інші, покинути цех через евакуаційний вихід і знаходитися у центрального входу в будівлю.

Якщо є потерпілі, надавати їм першу медичну допомогу; при необхідності, викликати "швидку допомогу" [59].

При пожежі викликати пожежну частину і приступити до її гасіння наявними засобами пожежогасіння.

В усіх випадках виконувати вказівки свого безпосереднього керівника.

5.5 Висновки з розділу

Аналізуючи технології транспортування компонентів комбікорму можна стверджувати, що можливо передбачити велику кількість небезпечних моментів за допомогою аналізу процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій. Виходячи із даного аналізу можна побудувати модель процесу формування та виникнення аварій і травм яка показує що із ста небезпечних ситуацій нещасний випадок трапляється лише один раз. Таким чином ми бачимо що наша установка не є травмонебезпечна. Усунувши ті недоліки можна досягнути вищого рівня безпеки під час транспортування зерна.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ

6.1 Технічна характеристика порівнюваних машин

З метою обґрунтування економічної ефективності використання пневмотранспорту виконаємо порівняння двох типів транспортерів-перевантажувачів, а саме удосконаленого пневматичного та шнекового НЗШ-10.

Технічні характеристики даних транспортерів наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічна характеристика транспортерів

№	Характеристика	НЗШ-10	Пневматичний
1	Продуктивність, т/год	16	19
2	Потужність ел. двигуна, кВт	3	5,5
3	Напруга живлення, В	380	380
4	Діаметр трубопроводу, мм	159	160
5	Довжина транспортування, м	10	10
6	Висота завантаження, м	3	3
7	Ціна, грн	32000	27000

За даними табл. 6.1. пневматичний транспортер переважає шнековий за продуктивністю, ціною та відстанню транспортування.

6.2 Методика розрахунку показників економічної ефективності

Зведені затрати Z_3 на одиницю напрацювання (грн) визначаються за формулою:

$$Z_3 = \Pi + K, \quad (6.1)$$

де Π , K – прямі експлуатаційні затрати і капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн/т.

Прямі експлуатаційні затрати дорівнюють:

$$\Pi = Z + \Gamma + P + A + Z_3, \quad (6.2)$$

У праву частину рівняння входять затрати відповідно на:

Z – оплату праці обслуговуючого персоналу;

E – електроенергію;

P – технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт;

A – реновацію;

Z_3 – зберігання.

Затрати на оплату праці тракториста становлять:

$$Z = \frac{L_{\epsilon} \tau_{\epsilon} k_{\partial}}{W_{зм}}, \quad (6.3)$$

де $W_{зм}$ – продуктивність транспортера за одну годину змінного часу, т/год;

L_{ϵ} – чисельність виробничого персоналу, чол;

τ_{ϵ} – годинна тарифна ставка оплати праці виробничого персоналу, грн/люд.год;

k_{∂} – коефіцієнт, що враховує доплати за класність та стаж роботи, кваліфікацію.

Затрати на електроенергію

$$E = q \Pi, \quad (6.4)$$

де q – витрата електроенергії, кг/т;

Π – комплексна ціна 1 кВт·год. електроенергії.

Затрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт за нормативами відрахувань

$$P = \frac{B(r_m + r_k)}{W_{зм} T_p}, \quad (6.5)$$

де B – балансова вартість сепаратора, грн;

r_m, r_k – коефіцієнти відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, капітальний ремонт;

T_p – річне завантаження транспортера.

$$T_p = D t, \quad (6.6)$$

де D – число днів роботи сепаратора за сезон;

t – експлуатаційний час.

Затрати на реновацію

$$A = \frac{B a}{W_{зм} T_p}, \quad (6.7)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на реновацію.

Затрати на зберігання

$$Z_3 = \frac{Z_{зб}}{W_{зм}}, \quad (6.8)$$

де $Z_{зб}$ – затрати на зберігання, що припадають на 1 год експлуатаційного часу, грн/год.

Капітальні вкладення K на тону становлять:

$$K = \frac{B}{W_{зм} T_p}. \quad (6.9)$$

Затрати праці Z_n (люд.-год/т)

$$Z_n = \frac{L_6}{W_{зм}}. \quad (6.10)$$

Річне напруцювання сепаратора

$$B_3 = W_{зм} T_p. \quad (6.11)$$

Річний економічний ефект від експлуатації транспортера

$$E_p = (П_1 - П_2) B_3, \quad (6.12)$$

де $П_1, П_2$ – зведені затрати для обох транспортерів, грн/ум.ет.га.

Річна економія праці Z_p (люд.-год):

$$Z_p = (Z_{нб} - Z_{нн}) B_3, \quad (6.13)$$

де $Z_{н1}, Z_{н2}$ – затрати праці для обох транспортерів, люд.-год/од. напр.

Ступінь зміни затрат C становить:

$$C = \frac{(Z'_{p1} - Z'_{p2}) \cdot 100}{Z'_{p1}}, \quad (6.14)$$

де $(Z'_{p1} - Z'_{p2})$ – річні затрати (затрати праці, прямі експлуатаційні затрати та зведені затрати, капітальні вкладення) відповідно для транспортерів, люд.-год.

6.3 Порівняльний аналіз транспортерів

На основі експлуатаційних показників роботи транспортерів, нормативно-довідкових матеріалів, цін на технічні засоби і електроенергію заповнюється таблиця вихідних даних (табл. 6.2), де враховані тільки показники, що впливають на економічну ефективність.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності транспортера

Показник	Транспортер	
	НЗШ-10	Пневматичний
Продуктивність, т/год	16	19
Балансова вартість, тис. грн	32000	27000
Річне завантаження, год	250	300
Чисельність виробничого персоналу, чол	1	1
Годинна тарифна ставка, грн	14,69	14,69
Коефіцієнт, що враховує доплати	1,05	1,05
Коефіцієнт відрахувань на реновацію	0,1	0,1
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування	0,08	0,08
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	0,05	0,05
Витрата електроенергії, кВт	5	5,5
Комплексна ціна 1 кВт електроенергії, грн	1,8	1,8
Затрати на зберігання, грн/год	0,030	0,030
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15	0,15

Аналіз економічної ефективності проводиться на ПЕОМ, згідно розробленої програми в середовищі Excel та зводимо їх в таблицю 6.3.

**Таблиця 6.3 – Показники економічної ефективності зернового
пневмотранспортера**

Показник	Транспортер	
	НЗШ-10	Пневматичний
Річне напруцювання, т	4000	5700
Прямі затрати (грн/т) на:		
- оплату праці	0,96	0,81
- електроенергії	9	9,9
- технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	1,04	0,62
- реновацію	0,8	0,47
- зберігання	0,07	0,04
всього прямих затрат	11,87	11,84
Капітальні вкладення, грн/т	8	4,74
Зведені затрати, грн/т	13,07	12,55
Затрати праці, люд.год	0,063	0,053
Річний економічний ефект, грн	—	2962,8
Річна економія праці, люд. год	—	56,25
Економічний ефект, грн/т	—	0,52
Ступінь зміни затрат (%):		
- прямих затрат	—	0,255
- зведених затрат	—	3,98
- капіталовкладень	—	40,79
з- атрат праці	—	0,01
Економічний ефект за строк служби, грн	—	11851,19
Строк окупності, років	—	3,47

6.4 Висновки з розділу

Отримані результати розрахунку економічної ефективності свідчать про доцільність використання пневматичного транспортера порівняно із шнековим, зокрема, прямі затрати є менші на 0,255 грн/т, а зведені – на 3,98 грн/т, затрати праці – 0,011 люд. год.

Термін окупності від впровадження у виробництво зернового пневмотранспортера становить 3,47 років.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу технологічних ліній приготування кормів встановлено, що в умовах господарств найпоширенішими є малогабаритні комбікормові установки, які можуть використовуватись для приготування комбікорму безпосередньо на фермі. Їх основними елементами є дробарка молоткова, сепаратор, основний змішувач, відвантажувальний шнековий транспортер, лопатевий змішувач для попереднього змішування, циклон і лінія транспортування компонентів комбікорму зі сховищ. Згідно прийнятої технологічної схеми процесу приготування комбікормів удосконалення технічного забезпечення потребує саме лінія транспортування зернових складових, так як основною задачею якої є переміщення зерна на відстані 10-30 м. Тому в подальшому і будемо розглядати даний етап процесу приготування комбікорму.

2. В результаті теоретичних досліджень встановлено характер зміни тиску P і швидкості повітряного потоку v по довжині l транспортного трубопроводу. Виявлено, що збільшення швидкості повітряного потоку по довжині траси призводить до різкого збільшення втрат тиску на тертя в транспортному трубопроводі. Тому рішення задачі з забезпеченню постійної швидкості повітряного потоку по довжині транспортного трубопроводу має велике практичне значення. Втрати тиску, викликані збільшенням швидкості руху потоку, можна зменшувати вирівнюванням абсолютного значення швидкостей повітряного потоку по всій довжині транспортного трубопроводу шляхом поступового або ступеневого збільшення його діаметра в напрямку від повітродувної машини до кінця трубопроводу.

3. Теоретичний аналіз пневмотранспортерних установок нагнітальної дії дозволив визначити основні фактори, які впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів. Встановлено, що підтримуюча швидкість повинна бути такою, щоб її відношення

до швидкості потоку повітря становила близько 0,6. Визначені основні складові втрати тиску при переміщенні повітряного потоку: тертя повітря в трубі; втрати тиску, викликані прискоренням частинок вантажу; втрати тиску, викликані кількістю частинками вантажу в трубі.

4. Розроблена методика розрахунку основних параметрів установок пневмотранспорту нагнітального типу і визначені характеристики відцентрового вентилятора, залежності тиску на виході вентилятора від витрат повітря і залежність потужності, що споживається та потужності вентилятора, що витрачається від витрат повітря.

5. В результаті експериментальних досліджень встановлена калібрувальна залежність продуктивності дозуючого пристрою для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). В результаті експериментальних досліджень встановлена залежність концентрації суміші від подачі зерна в трубопроводі для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза).

6. В результаті експериментальних досліджень встановлені криві зміни швидкості повітряного потоку і статичного тиску пневмотранспортера по довжині трубопроводу під час транспортування різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). Результати дослідження повітряного потоку на експериментальній установці показали зміну його швидкості по довжині трубопроводу в середньому 1 м/с на 1 м трубопроводу. Встановлено граничну концентрацію суміші та продуктивність живильних пристроїв. Для кукурудзи максимальна подача становить 1500 г/хв. Під час транспортування насіння пшениці максимально допустима подача становить до 2000 г/хв., а для насінням ячменю – 1800 г/хв

7. Аналізуючи технології транспортування компонентів комбікорму можна стверджувати, що можливо передбачити велику кількість небезпечних моментів за допомогою аналізу процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій. Виходячи із даного аналізу можна побудувати модель процесу формування та виникнення аварій і травм яка показує

що із ста небезпечних ситуацій нещасний випадок трапляється лише один раз. Таким чином ми бачимо що наша установка не є травмонебезпечна. Усунувши ті недоліки можна досягнути вищого рівня безпеки під час транспортування зерна.

8. Отримані результати розрахунку економічної ефективності свідчать про доцільність використання пневматичного транспортера порівняно із шнековим, зокрема, прямі затрати є менші на 0,255 грн/т, а зведені – на 3,98 грн/т, затрати праці – 0,011 люд. год. Термін окупності від впровадження у виробництво зернового пневмотранспортера становить 3,47 років.

Список використаної літератури

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М: Наука, 1976. 279 с.
2. Александров А.Н., Козориз Г.Ф. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: Справочник. М.: Лесн. Пром-сть, 1988. 248 с.
3. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. Вип. 1 (73).
4. Бурмистрова М.Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. М.:ГИСЛ. 1956. с.346.
5. Валге А. М. Обработка данных в Excel на примерах. СПб.: ГНУСЗНИИМЭСХРоссельхозакадемии, 2010. 104 с.
6. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М. : Наука, 1973. 451 с.
7. Визначення характеристик відцентрового вентилятора. Інструкція до лабораторної роботи №10 з курсу “Процеси і апарати хімічної технології” для студентів хіміко-технологічних спеціальностей / Укл. Є.М. Семенишин, В.І. Троцький. Львів : Вид-во Нац. ун-ту ”Львівська політехніка”, 2003.
8. Гавриков Е.И. Методы определения экономической эффективности новой техники, опытно-конструкторских разработок и научно-исследовательских работ. Минск.: Высшая школа, 1972. 92 с.
9. Гнеушев В.О. Вентиляція і пневматичний транспорт. Навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 138 с.
10. Лехман С.Д., Целинский В.П., Козирев С.М. Довідник з охорони праці в сільському господарстві (запитання і відповіді). За ред.. С.Д.Лехмана. К.: Урожай, 1990. 400 с.
11. Додонов Б.П., Лифанов В.А. Грузоподъемные и транспортные

устройства: Учебник для средних специальных заведений. М: Машиностроение. 1990. 248 с.

12. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна. Агропромиздат, 1985. 334 с.

13. Зарницына Э.Г., Терехова О.Н. Вентиляционные установки и пневмотранспорт: учебное пособие. Алт. гос. техн. Ун-т им. И. И. Ползунова Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. 228 с.

14. Кузнецов В.С. Денисов С.В. Пневматический транспорт на деревообрабатывающих предприятиях. Внешние пневмотранспортные установки: Учебное пособие. Братск: БрГУ, 2007. 67 с.

15. Лебедев В.Б. Промышленная обработка и хранение семян/ Учебное пособие для вузов. М.: Агропромиздат, 1991. 16 с.

16. Любін М.В., Токарчук О.А., Яропуд В.М. Особливості роботи крутопохилених гвинтових транспортерів при переміщенні зернової продукції. Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця, 2016. №3 (95). С. 235-240.

17. Любін М. В., Токарчук О. А., Єленіч М. П. Розрахунки підймальних механізмів та машин. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2013. 208 с.

18. Матвійчук В.А., Любін М.В., Токарчук О.А., Рубаненко О.О. Особливості частотно-регульованого електроприводу для транспортуючих систем АПК. Хмельницький: Вісник Хмельницького національного університету, серія: Технічні науки, 2018 р. №6. С. 39-43

19. Марон Ф.П., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск, 1977. 271 с.

20. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. М.: Агропромиздат, 1985. 344 с.

21. Механізація транспортуючих робіт: [навч. посіб.]. Ч. II: Транспортуючі машини без тягового органу. Вінниця: ВНАУ, 2010. 230 с.

22. Омелянов О.М. Особливості використання механічних коливань в технологічних процесах. Вібрації в техніці та технологіях. 2017. №4(87) С. 129-

134.

23. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П.. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. Техніка енергетика транспорт АПК. №2(97). 2017. С. 109-114.

24. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник. К.:«Хай-Тек Прес», 2012. 128 с.

25. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник. К.: «Хай-Тек Прес», 2011. 140 с.

26. Паладійчук Ю.Б., Кашпрук Ю.М. Технологічність конструкції гвинтових конвеєрів завантажувачів. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК. №2(90). Вінниця, 2015. С. 104-107.

27. Паладійчук Ю.Б., Михайловська М.А. Гвинтові завантажувачі в агропромисловому комплексі. Збірник наукових праць ВНАУ. Технічні науки. Випуск 1 (84). Вінниця 2014. С.131-135

28. Бондарєв В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних та транспортуючих машин: Підручник. К.: Вища шк., 2009. 734 с.

29. М.П. Калинушкин, В.С. Серяков, М.М. Шапунов. Пневмотранспортное оборудование: Справочник. Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. 286 с.

30. Воробьев А.А., Матвеев А.И., Носко Г.С., Шапунов М.М., Апнинский Б.А. Пневмотранспортные установки. Справочник. Изд-во «Машиностроение», 1969. 200 с.

31. Пятибрат В. П. Упрощенные способы расчета нагнетателей: метод. указания. 2-е изд., исправ. Ухта : УГТУ, 2013. 22 с.

32. Расчет установок пневмотранспорта: методические указания к

выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики/сост. Кантаев А.С., Брус И.Д.

33. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

34. Солоня О.В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 116 с.

35. Солоня О.В., Купчук І.М., Паламарчук В.І. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.

36. Солоня О.В., Купчук І.М. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.

37. Солоня О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. Вінниця, 2019. 254 с.

38. Солоня О.В., Любін В.С. Теорія механізмів і машин. Лабораторний практикум. Навчальний посібник. Вінниця: ПП Балюк І.Б., 2014. 138 с.

39. Тураев Н.С.; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 28 с.

40. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

41. Таубер Е.А., Калитиевский Р.Е., Громцев Е.К. Внутризаводской транспорт. Лесная пром-сть, 1978. 239 с.

42. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. К.: НМК ВО, 1992. 320 с.

43. Холоменюк М.В. Насосні та вентиляторні установки: навч. посіб. Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т, 2004. 330 с.

44. Шевчук С.П., Попович О.М., Світлицький В.М. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підруч. К.: НТУУ «КПІ», 2010. 308 с.

45. Закон України «Про охорону праці» Документ 2694-ХІІ, чинний,

поточна редакція. Редакція від 16.10.2020, підстава - 124-IX.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

46. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ: Держстандарт України, 1999. 22 с.

47. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів

48. Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Документ 687-2004-п, чинний, поточна редакція — Редакція від 04.03.2016, підстава - 76-2016-п.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-п#Text>

49. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. 01.07.2016.

50. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

51. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98). Документ z0093-98, поточна редакція — Прийняття від 09.01.1998. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>

52. НПАОП 40.1-1.07-01 (ДНАОП 1.1.10-1.07-01) Правила експлуатації електрозахисних засобів. Приказ от 05.06.2001 № 253.

53. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів. Документ z1143-06, чинний, поточна редакція — Редакція від 21.02.2017, підстава - z0132-17. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>

54. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. МОЗ України. Наказ 08.04.2014 № 248. Документ z0472-14, чинний, поточна редакція. Прийняття від 08.04.2014.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

55. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація. 01.01.1976. Чинність документа відновлена з 26.04.2019 до

01.01.2022 згідно з наказом від 24.04.2019 № 111.

56. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15 і зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511 зі змінами.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>

57. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. 02.02.2011.

58. Закон України «Про пожежну безпеку». Документ 3745-XII від 01.07.2013, підстава - 5403-VI. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text>

59. Закон України «Про екстрену медичну допомогу». Документ 5081-VI, чинний, поточна редакція — Редакція від 16.10.2020, підстава - 124-IX.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5081-17#Text>

Додатки

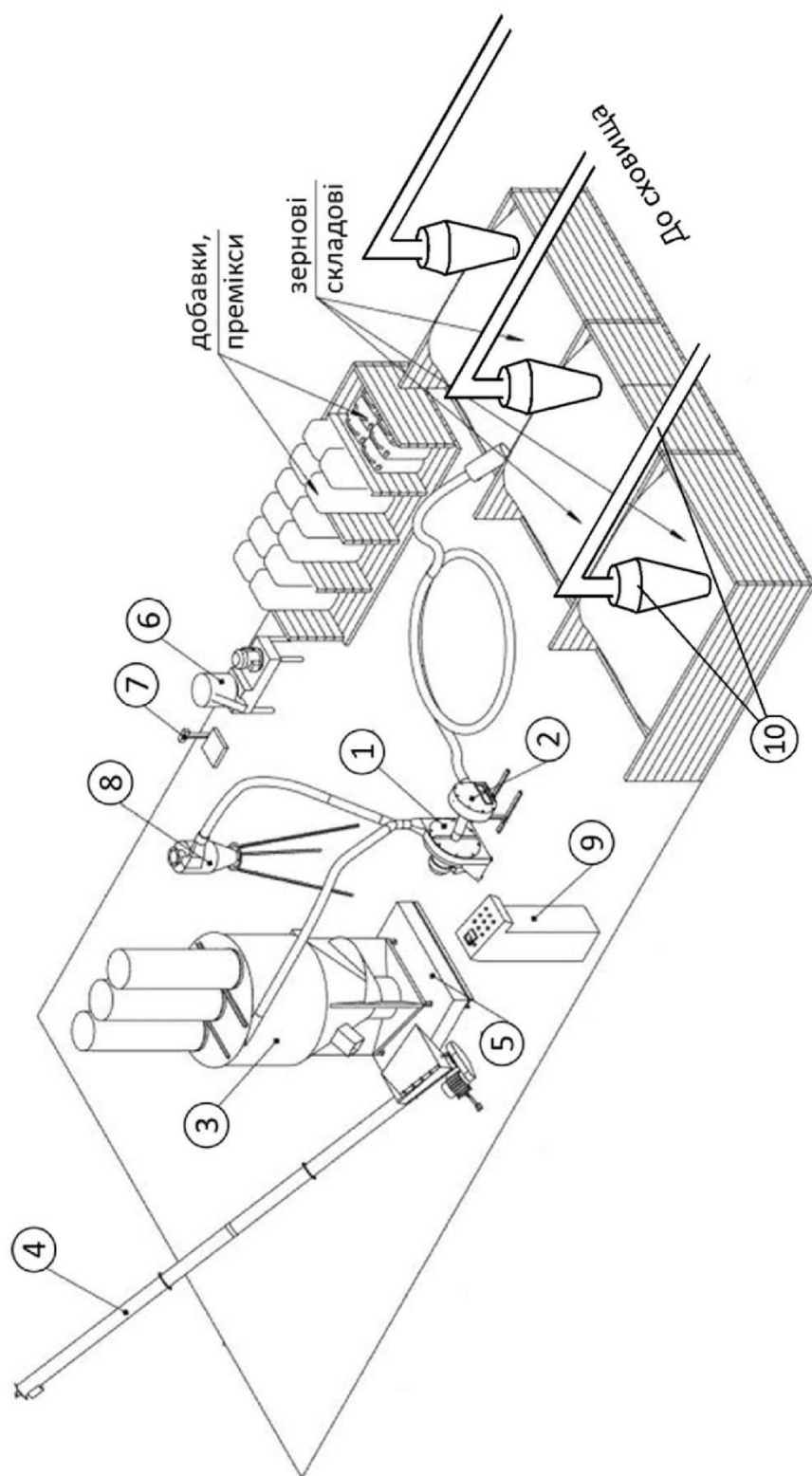
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА СИПКИХ КОРМІВ НАГІТАЛЬНОЇ ДІЇ

Виконав: студент групи МГМ-2-19
Гущин Артем Олександрович

Керівник: канд. техн. наук, доцент
Гаврильченко Олександр Степанович

Дніпро, 2020



- 1 – дробарка молоткова; 2 – сепаратор; 3 – основний змішувач;
 4 – відвантажувальний шнековий транспортер; 5 – електронні або механічні ваги;
 6 – лопатевий змішувач для попереднього змішування;
 7 – електронні або механічні ваги; 8 – циклон; 9 – пульт керування;
 10 – лінія транспортування зернових складових

Метою роботи є підвищення ефективності транспортування зернових складових комбікорму шляхом обґрунтування параметрів пневмотранспортера нагнітальної дії.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні **завдання**:

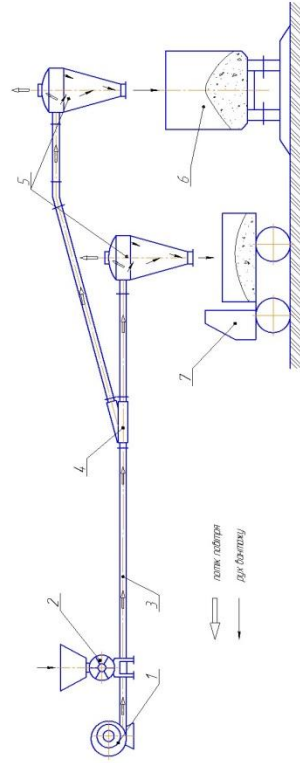
1. Провести аналіз фізико-механічних властивостей насіння зернових культур.
2. Проаналізувати технології і технічні засоби транспортування сипких матеріалів.
3. Вивчити основні чинники, які впливають на ефективність роботи пневмотранспортера нагнітальної дії.
4. Розробити експериментальний зразок пневмотранспортера та підібрати обладнання для експериментальних досліджень.
5. Розробити методики дослідження впливу параметрів пневмотранспортера на ефективність транспортування зернових складових.
6. Встановити вплив параметрів роботи пневмотранспортера на ефективність його роботи.
7. Розробити практичні рекомендації щодо експлуатації пневмотранспортера нагнітальної дії.
8. Визначити економічну ефективність застосування пневмотранспортера.

Особливості технологічних схем установок пневматичного транспорту 4

Приклад всмоктувально-нагнітальної системи пневмотранспорту

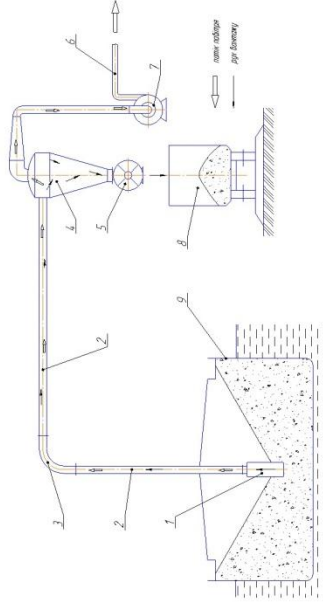


Технологічна схема завантаження транспорту за допомогою пневмоустановки нагнітальної дії



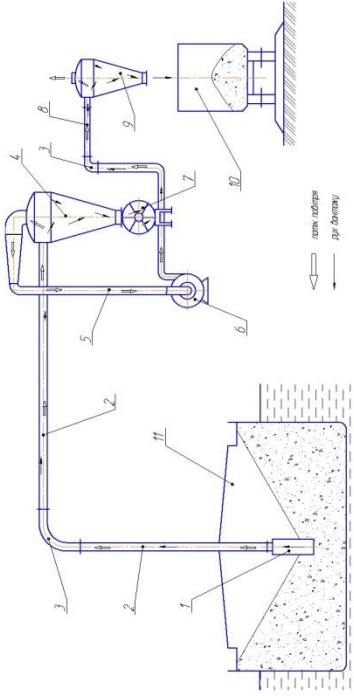
1 – нагнітач повітря; 2 – шлюзовий затвор; 3 – трубопровід;
4 – розгалужувач; 5 – циклон; 6 – вагон; 7 – автомобіль.

Технологічна схема пневмотранспортера всмоктувального типу



1 – всмоктуючий сопло; 2 – трубопровід; 3 – коліно;
4 – циклон; 5 – шлюзовий затвор; 6 – повітропровід;
7 – нагнітач повітря; 8 – вагон; 9 – баржа

Технологічна схема розвантаження за допомогою пневмоустановки всмоктувально-нагнітальної дії

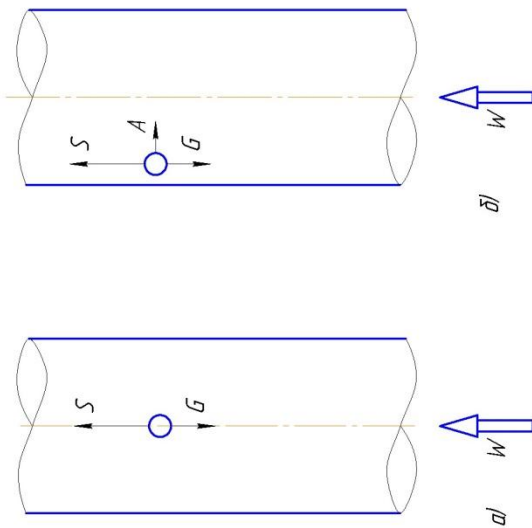


1 – всмоктувальне сопло; 2 – трубопровід; 3 – коліно;
4 – відділюючий циклон; 5 – повітропровід; 6 – нагнітач повітря;
7 – шлюзовий затвор; 8 – нагнітальна лінія; вагон;
9 – розвантажувальний циклон; 10 – вагон; 1 – баржа.

Теоретичні дослідження процесу переміщення зерна пневмотранспортером

5

Сили, які діють на частинки вантажу у вертикальному повітряному потоці

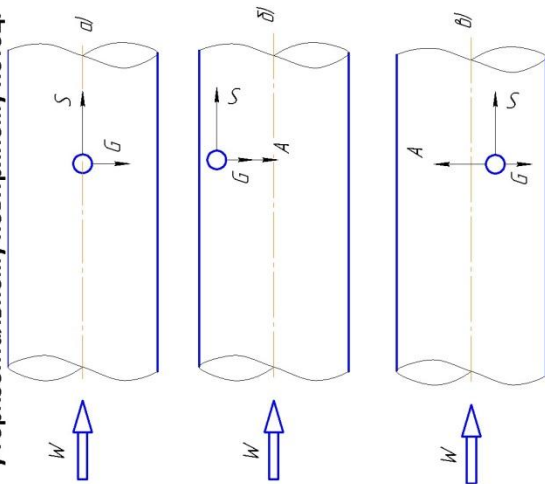


W – напрям повітряного потоку; S – опір частинки вантажу ;
 G - вага частинки; A – підйомна сила.

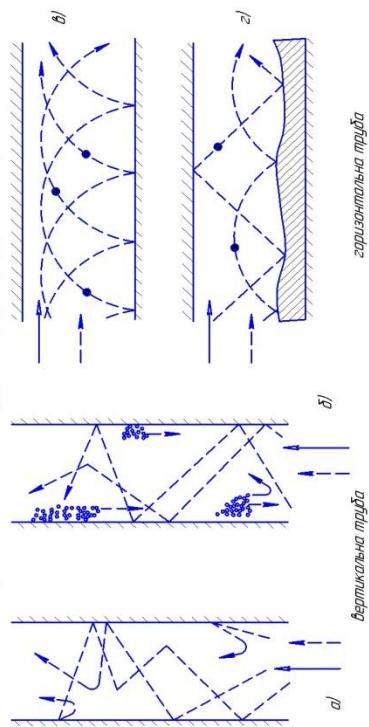
$$S = \frac{c_w \cdot A \cdot \rho}{2 \cdot w^2}$$

де S - сила опору нагнітаючому потоку повітря;
 c_w - коефіцієнт опору, що залежить від форми частинки вантажу;
 F - площа найбільшого перетину вертикальної проекції частинки вантажу;
 ρ - питома щільність повітря;
 w - швидкість потоку повітря.
 $\rho/2 \cdot w^2$ - динамічний тиск.

Сили, які діють на частинки вантажу у горизонтальному повітряному потоці



Переміщення частинок вантажу в вертикальних і горизонтальних трубах у розрідженому стані



Аналітичні дослідження втрат тиску в транспортній трубі

6

Графік зміни втрат тиску під час транспортування

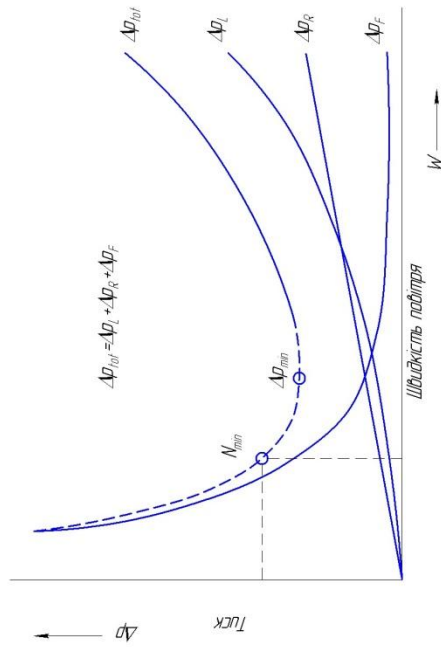
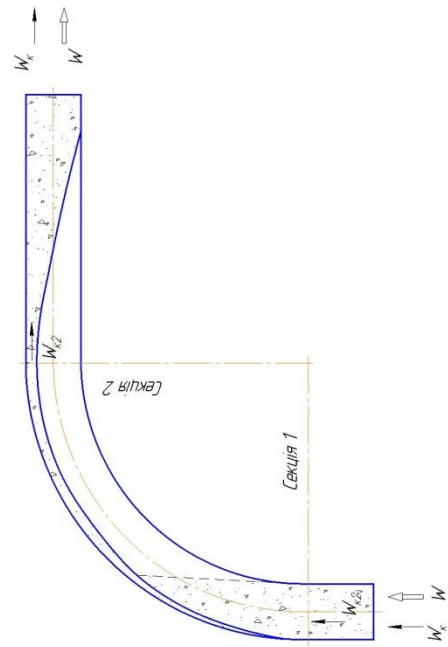
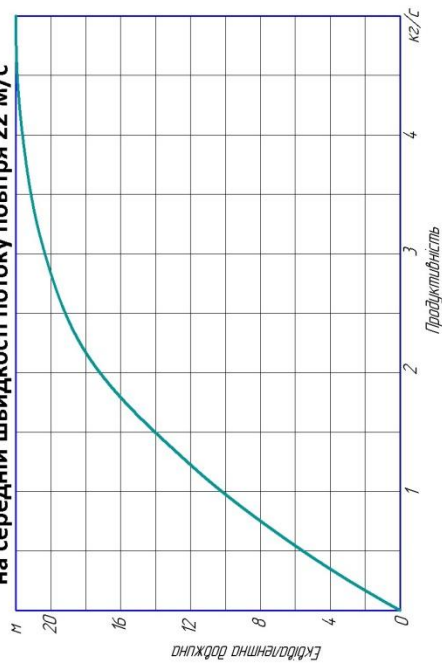


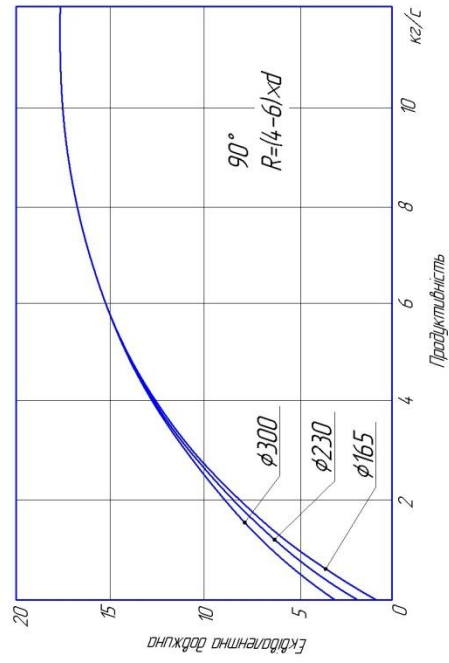
Схема руху вантажу і повітря в коліні транспортної труби



Еквівалентна довжина для транспортування пшениці на середній швидкості потоку повітря 22 м/с



Еквівалентна довжина труби для колін різного діаметру



Програма експериментальних досліджень

7

Програмою експериментальних досліджень передбачалась розробка експериментальної дослідної установки та дослідження її роботи під час транспортування зерна різних сільськогосподарських культур (пшениці, вівса, льону).

Завдання досліджень:

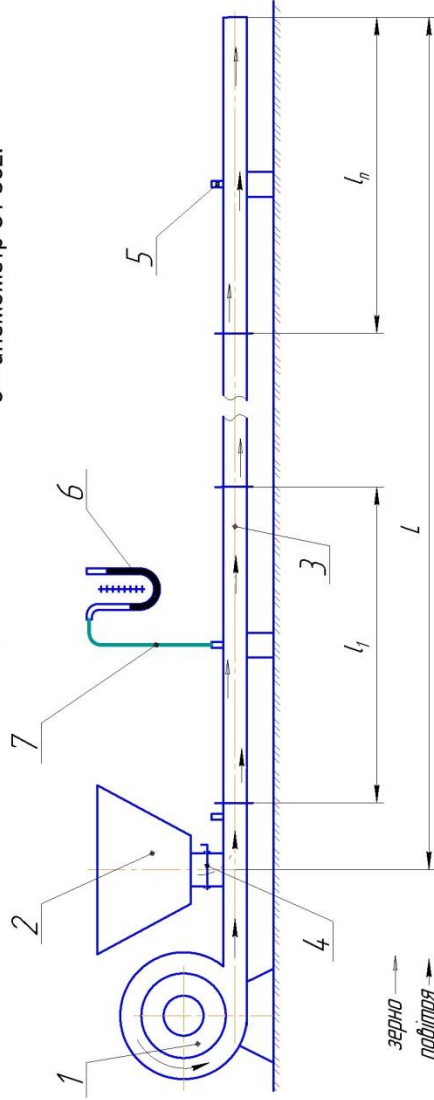
1. Обґрунтувати конструктивну схему експериментального зразка пневмотранспортера нагнітальної дії.
2. Розробити експериментальний зразок пневмо-транспортера.
3. Визначити характеристики нагнітальної установки.
4. Дослідити параметри потоку повітря в транспортному трубопроводі.
5. Визначити втрати тиску по довжині транспортного трубопроводу.
6. Дослідити вплив концентрації повітряно-зернової суміші на процес її транспортування.
7. Обґрунтувати оптимальні параметри транспортера та режим його роботи для різного зерна.
8. Визначити техніко-економічні показники роботи транспортера.



Загальний вигляд експериментальної установки

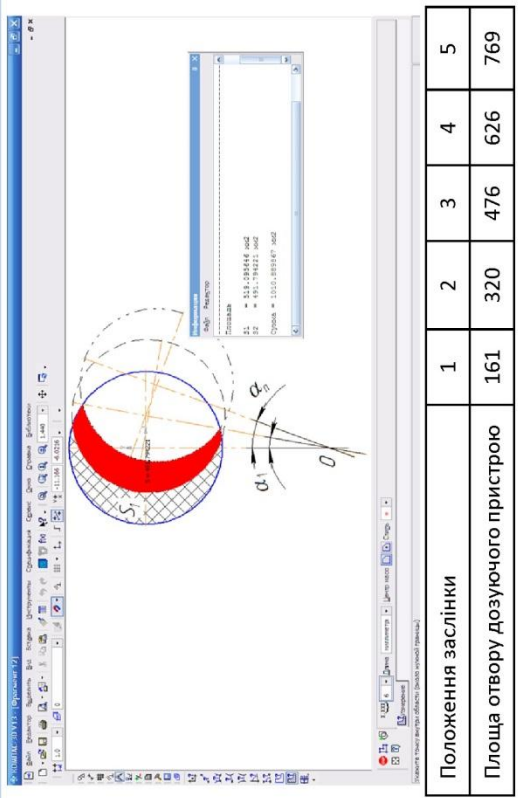
- 1 – нагнітач повітря (радіальний вентилятор); 2 – вузол подачі насіння; 3 – секції транспортуючого трубопроводу; 4 – вмикач вентилятора; 5 – рідинний U-подібний манометр; 6 – анемометр УТ 362.

Загальний вигляд експериментальної установки



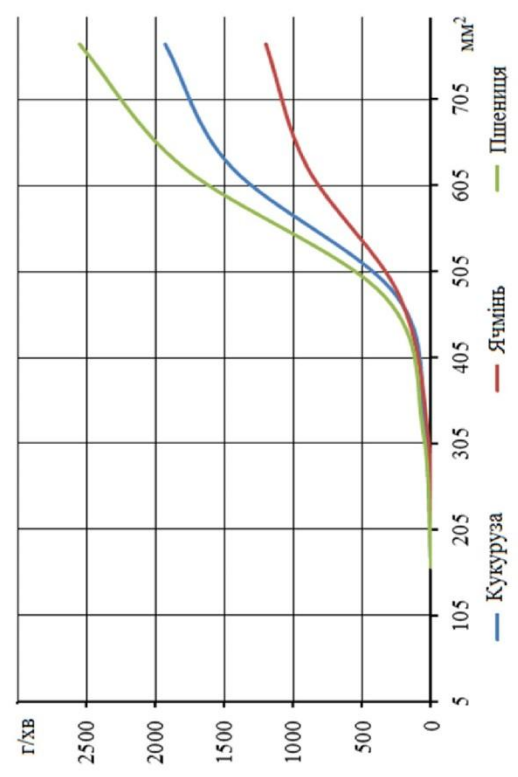
Технологічна схема експериментальної установки пневмо-транспортера нагнітальної дії:

- 1 – нагнітальна установка (відцентровий вентилятор); 2 – бункер;
3 – секція транспортного трубопроводу; 4 – заслінка; 5 – ніпель; 6 – U-подібний манометр; 7 – шланг.

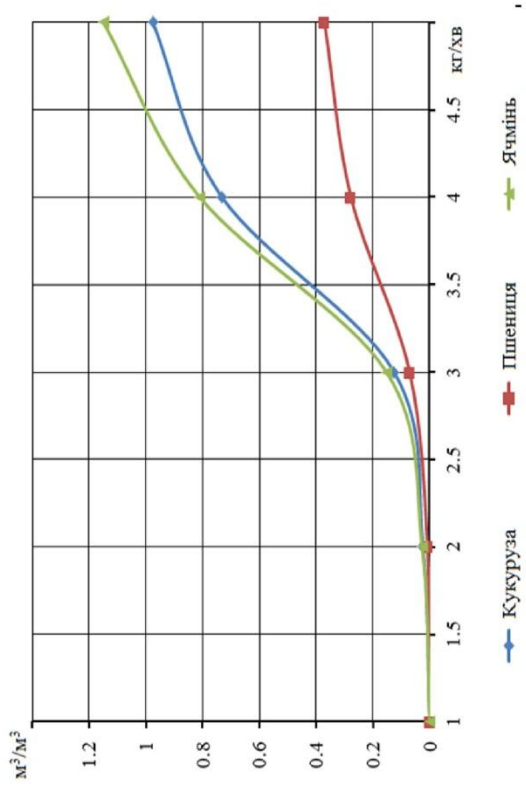


а – схема

б – вікно середовища КОМПАС-3D V 16



Результати визначення продуктивності дозуючого пристрою



Криві об'ємної концентрації суміші

Визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі 9



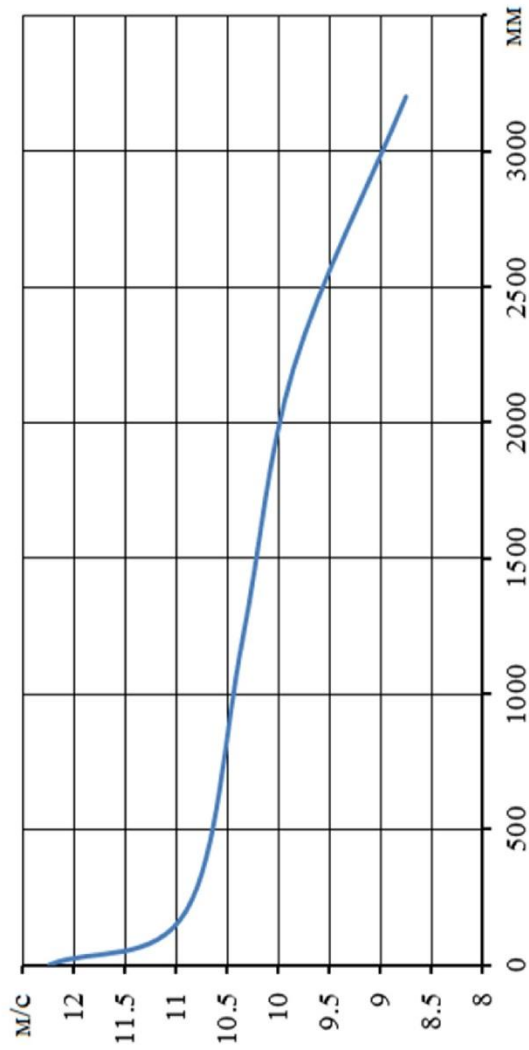
а – на початку транспортного трубопроводу



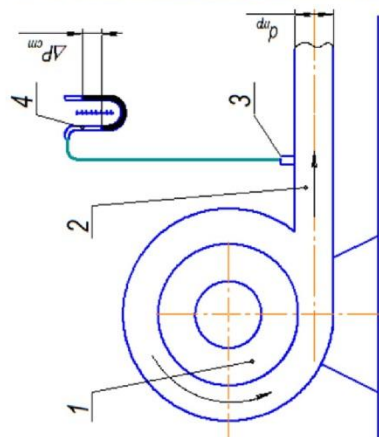
б – вздовж транспортного трубопроводу



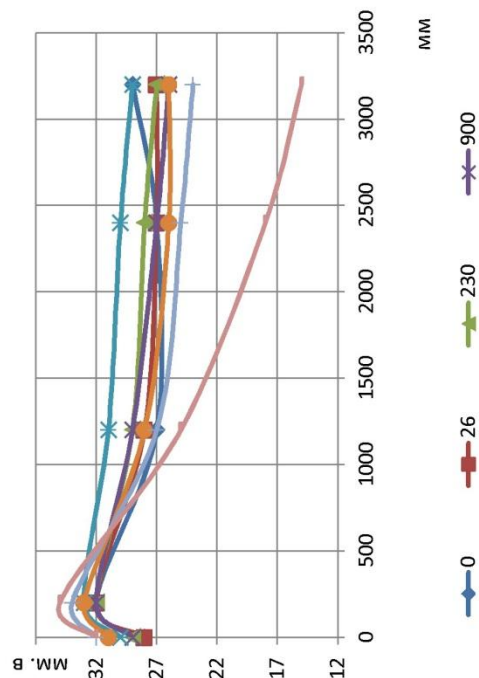
в – екран анемометра UT 362



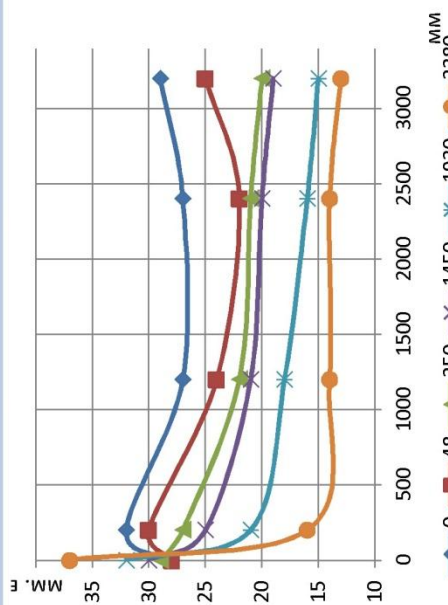
Крива зміни швидкості повітряного потоку по довжині трубопроводу



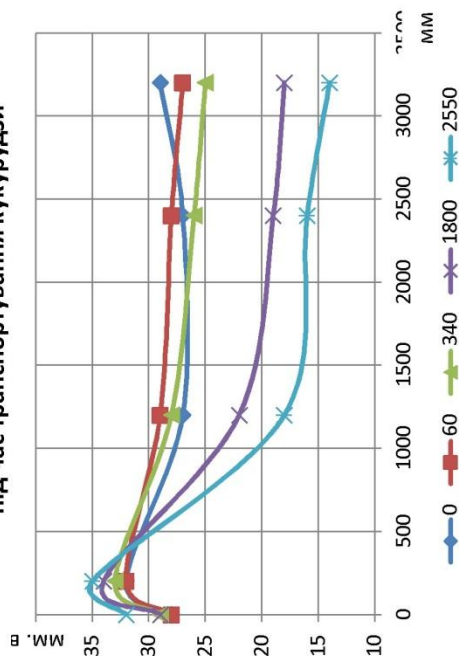
Обладнання для вимірювання статичного тиску в трубопроводі пневмотранспортера



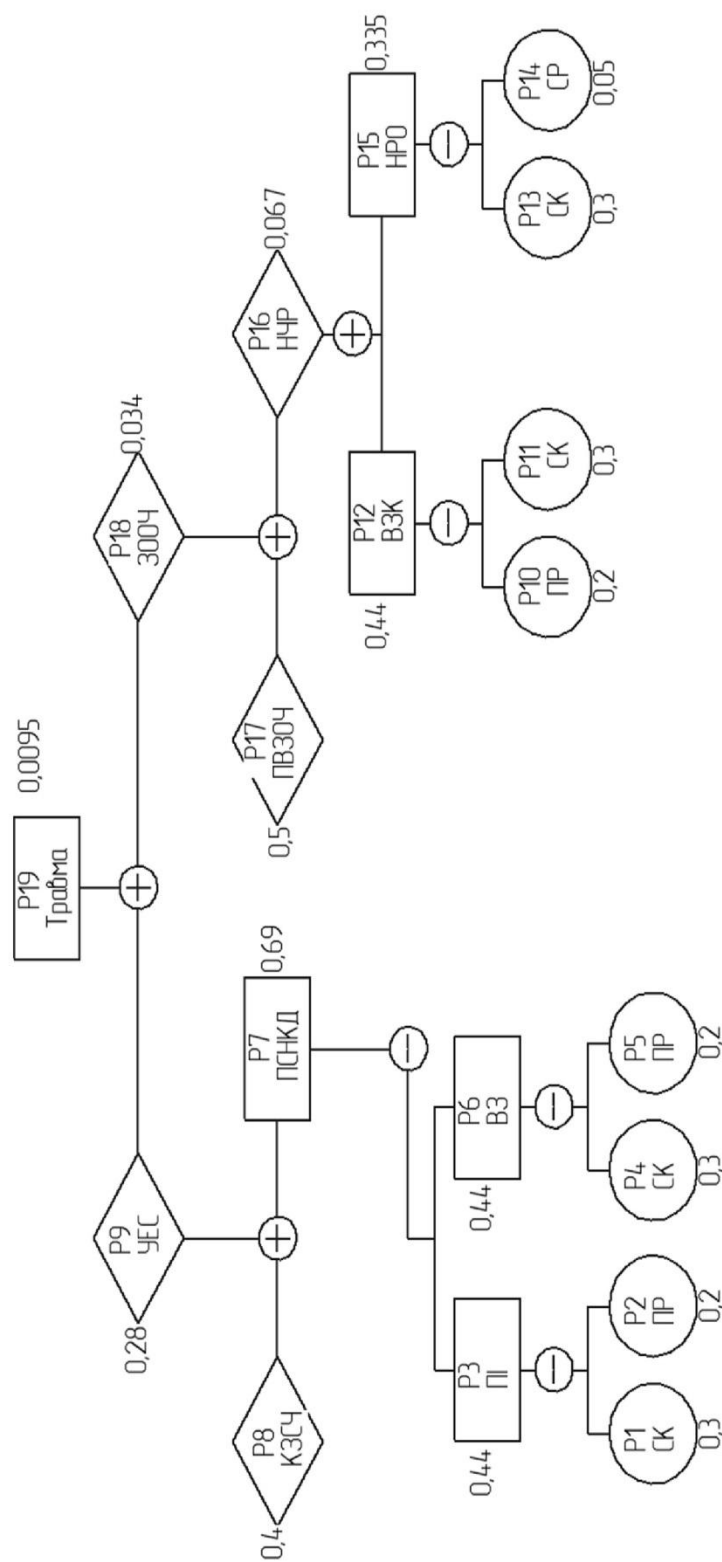
Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування пшениці



Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування кукурудзи



Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування ячміню



СК – стан контролю; ПР – професійний рівень; СР – стан робітника; ПІ – пошкодження ізоляції; ВЗ – Відсутність заземлення; ВЗК – відсутність захисних кожухів; НРО – невідповідність робочого одягу; НУР – Небезпечні умови роботи; ПВЗОЧ – поява в зоні обертюв частин; ЗООЧ – захоплення одягу обертювими частинами; ПСНКТ – поява струму на корпусі транспортера; КЗСЧ – контакт з струмоведучими частинами; УЕС – ураження електричним струмом

Модель процесу формування та виникнення аварій і травм

Економічна ефективність використання пневмотранспортера компонентів комбікормів

12

Технічні характеристики машин

Характеристика	НЗШ-10	Пневматичний
Продуктивність, т/год	16	19
Потужність ел. двигуна, кВт	3	5,5
Напруга живлення, В	380	380
Діаметр трубопроводу, мм	159	160
Довжина транспортування, м	10	10
Висота завантаження, м	3	3
Ціна, грн	32000	27000

Техніко-економічні показники

Показник	Транспортер	
	НЗШ-10	Пневматичний
Річне напруження, т	4000	5700
Прямі затрати (грн/т) на:		
- оплату праці	0,96	0,81
- електроенергії	9	9,9
- технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	1,04	0,62
- реновацію	0,8	0,47
- зберігання	0,07	0,04
всього прямих затрат	11,87	11,84
Капітальні вкладення, грн/т	8	4,74
Зведені затрати, грн/т	13,07	12,55
Затрати праці, люд.год	0,063	0,053
Річний економічний ефект, грн	–	2962,8
Річна економія праці, люд. год	–	56,25
Економічний ефект, грн/т	–	0,52
Економічний ефект за строк служби, грн	–	11851,19
Строк окупності, років	–	3,47

1. В результаті аналізу технологічних ліній приготування кормів встановлено, що в умовах господарств найпоширенішими є малогабаритні комбикормові установки, які можуть використовуватись для приготування комбикорму безпосередньо на фермі. Їх основними елементами є дробарка молоткова, сепаратор, основний змішувач, відвантажувальний шнековий транспортер, лопатевий змішувач для попереднього змішування, циклон і лінія транспортування компонентів комбикорму зі сховищ. Згідно прийнятої технологічної схеми процесу приготування комбикормів удосконалення технічного забезпечення потребує саме лінія транспортування зернових складових, так як основною задачею якої є переміщення зерна на відстані 10-30 м. Тому в подальшому і будемо розглядати даний етап процесу приготування комбикорму.
2. В результаті теоретичних досліджень встановлено характер зміни тиску P і швидкості повітряного потоку v по довжині I транспортного трубопроводу. Виявлено, що збільшення швидкості повітряного потоку по довжині траси призводить до різкого збільшення втрат тиску на тертя в транспортному трубопроводі. Тому рішення задачі з забезпеченню постійної швидкості повітряного потоку по довжині транспортного трубопроводу має велике практичне значення. Втрати тиску, викликані збільшенням швидкості руху потоку, можна зменшувати вирівнюванням абсолютного значення швидкостей повітряного потоку по всій довжині транспортного трубопроводу шляхом поступового або ступеневого збільшення його діаметра в напрямку від повітрорудної машини до кінця трубопроводу.
3. Теоретичний аналіз пневмотранспортних установок нагнітальної дії дозволив визначити основні фактори, які впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів. Встановлено, що підтримуюча швидкість повинна бути такою, щоб її відношення до швидкості потоку повітря становила близько 0,6. Визначені основні складові втрати тиску при переміщенні повітряного потоку: тертя повітря в трубі; втрати тиску, викликані прискоренням частинок вантажу; втрати тиску, викликані кількістю частинками вантажу в трубі.

4. Розроблена методика розрахунку основних параметрів установок пневмотранспорту нагнітального типу і визначені характеристики відцентрового вентилятора, залежності тиску на виході вентилятора від витрат повітря і залежність потужності, що споживається та потужності вентилятора, що витрачається від витрат повітря.
5. В результаті експериментальних досліджень встановлена калібрувальна залежність продуктивності дозуючого пристрою для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). В результаті експериментальних досліджень встановлена залежність концентрації суміші від подачі зерна в трубопроводі для різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза).
6. В результаті експериментальних досліджень встановлені криві зміни швидкості повітряного потоку і статичного тиску пневмотранспортера по довжині трубопроводу під час транспортування різних зернових компонентів комбікорму (пшениця, ячмінь, кукурудза). Результати дослідження повітряного потоку на експериментальній установці показали зміну його швидкості по довжині трубопроводу в середньому 1 м/с на 1 м трубопроводу. Встановлено граничну концентрацію суміші та продуктивність живильних пристроїв. Для кукурудзи максимальна подача становить 1500 г/хв. Під час транспортування насіння пшениці максимально допустима подача становить до 2000 г/хв., а для насіння ячменю – 1800 г/хв.
7. Аналізуючи технології транспортування компонентів комбікорму можна стверджувати, що можливо передбачити велику кількість небезпечних моментів за допомогою аналізу процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій. Виходячи із даного аналізу можна побудувати модель процесу формування та виникнення аварій і травм яка покаже що із ста небезпечних ситуацій нещасний випадок трапляється лише один раз. Таким чином ми бачимо що наша установка не є травмонебезпечна. Усунувши ті недоліки можна досягнути вищого рівня безпеки під час транспортування зерна.
8. Отримані результати розрахунку економічної ефективності свідчать про доцільність використання пневматичного транспортера порівняно із шнековим, зокрема, прямі затрати є менші на 0,255 грн/т, а зведені – на 3,98 грн/т, затрати праці – 0,011 люд. год. Термін окупності від впровадження у виробництво зернового пневмотранспортера становить 3,47 років.

Міністерство освіти і науки України
Національна академія аграрних наук України
Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка

МАТЕРІАЛИ

XXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ „СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ”

присвяченої 90-річчю Харківського
національного технічного університету
сільського господарства ім. П. Василенка
та

120-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка

17-18 жовтня 2020 року

Харків – 2020

ISSN 2519-4194

Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки” – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 370 с.

Головний редактор	Нанка Олександр Володимирович , академік УНАНЕТ, ректор ХНТУСГ імені Петра Василенка
Заступник головного редактора	Мельник Віктор Іванович , проректор ХНТУСГ імені Петра Василенка, д.т.н., професор
Редактор	Власовець Віталій Михайлович , директор ННІ МСМ, доктор технічних наук, професор

© Харківський національний
технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка

2020 р.

УДК 631.363

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА СИПКИХ КОРМІВ

Гаврильченко О.С., к.т.н., доц., Гущин А.О., магістрант
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет)

Метою роботи є підвищення ефективності транспортування сипких кормів шляхом обґрунтування параметрів пневмотранспортера.

До переваг установок пневмотранспорту відносяться: герметичність системи; відсутність втрат вантажу; запобігання впливу на нього зовнішнього середовища; можливість переміщення вантажів по складній трасі з горизонтальними, похилими і вертикальними ділянками; зосередженість машинного обладнання в одному місці, що виключає догляд за установкою по всій трасі; пристосованість до складних місцевих умов будинків і споруд; переміщення вантажів з декількох місць в одне або з одного місця в кілька, а також поєднання переміщення вантажу з технологічними процесами; транспортування без участі людини [1].

До основних недоліків пневмотранспорту можна віднести: високі питомі витрати енергії; інтенсивне спрацювання трубопроводів (особливо в місцях поворотів); неможливість транспортування вантажів з розмірами понад 80 мм; неможливість транспортування вологих і липких матеріалів; складність відділення пилоподібних матеріалів від потоку повітря в кінці транспортування [2].

В ході теоретичних досліджень пневмотранспортерної установки нагнітальної дії встановлені основні фактори, які впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів.

Результати дослідження повітряного потоку на експериментальній установці показали зміну його швидкості по довжині трубопроводу в середньому 1 м/с на 1 м трубопроводу.

Встановлено граничну концентрацію суміші та продуктивність живильних пристроїв. Для пшениці максимальна подача становить 1500 г/хв. Під час транспортування насіння вівса максимально допустима подача становить до 2000 г/хв., а для насінням льону - 1800 г/хв.

Список літератури:

1. Калинушкин М. П., Серяков В. С., Шапунов М. М. Пневмотранспортное оборудование: Справочник. Л.: Машиностроение. 1986. 286 с.
2. Зарницына Э. Г., Терехова О. Н. Вентиляционные установки и пневмотранспорт: учебное пособие. Алт. гос. техн. Ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. 228 с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ	35
Бойко С.М.	
ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	37
Борак К.В.	
УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ 65Г В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ	38
Дворук В.І., Бучко І.О., Руденко В.Г., Добранський С.С.	
ОГЛЯД РОЗВИТКУ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ОРІЄНТАЦІЄЮ ПРОСАПНИХ ЗНАРЯДЬ ВЗДОВЖ РЯДКІВ КУЛЬТУР	40
Ветохін В.І., Овсієнко Ю.І., Голдибан В.В., Барановський І.А., Амосов В.В.	
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА СОКОВИТИХ КОРМІВ	41
Гаврильченко О.С., Громов К.О.	
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА СИПКИХ КОРМІВ	42
Гаврильченко О.С., Гушин А.О.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СУЛЬФОАЛІТОВАНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ, ОТРИМАНИХ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ	43
Гапонова О.П.	
ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИЛАДУ ПО ОБМОЛОЧУВАННЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	45
Головченко Г.С.	
УЩІЛЬНЕННЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ТА СТЕНДОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ З САМОВПОРЯДКОВАНИМ РОТОРОМ	47
Горовий С.О.	
КЛАСИФІКАЦІЯ ІННОВАЦІЙ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ	49
Денисенко М.І., Дев'ятко О.С.	
ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РОСЛИННИЦТВІ	51
Деркач О.Д., Шестаков Т., Крутоус Д.І.	
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО	53
Дідух В.Ф., Буснюк В.В.	
МЕХАНІЗАЦІЯ САДІННЯ КАРТОПЛІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ОРГАНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ	55
Дідух В.Ф., Ляшук В.М., Тарасюк Д.В.	
НАНОМОДИФІКОВАНІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	57
Диха О.В., Свідерський В.П.	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИСІВУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ЄМНІСНИХ ДАТЧИКІВ	58
Донченко Є.І.	
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ	59
Дудченко В.В.	