

Міністерство освіти та науки України
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
к.т.н., професор Бандура В.М.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 19 » листопада 2019 р.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНОВОГО ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРА

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 61-АІ
Стецюк Ігор Андрійович

Керівник: к.т.н., доцент
Яропуд Віталій Миколайович

Зміст

Анотація.....	5
Вступ.....	7
1. Стан питання та задачі досліджень.....	10
1.1. Аналіз фізичних властивостей зернових мас.....	10
1.2. Загальні відомості про пневматичний транспорт.....	14
1.3. Класифікація установок пневмотранспорту.....	15
1.4. Вузли та обладнання установок пневмотранспорту.....	17
1.5. Аналіз технологічних схем установок пневматичного транспорту.....	20
1.6. Основні властивості насипних вантажів.....	23
1.7. Завдання досліджень.....	26
2. Теоретичні дослідження процесу переміщення зерна пневмотранспортером....	27
2.1. Основи теорії пневмотранспортування нагнітальними пневмотранспортними установками.....	27
2.2. Аналіз руху потоку повітря та сипкого матеріалу в трубі пневмотранспортера.....	31
2.3. Аналіз чинників, котрі впливають на рух матеріалу в пневмотранспорті.	34
2.4. Втрати тиску в транспортній трубі.....	37
2.4.1. Втрати тиску, викликані прискоренням частинок вантажу.....	38
2.4.2. Втрати тиску в колінах труб.....	39
2.5. Методика розрахунку установок пневмотранспорту.....	42
2.6. Розрахунок нагнітальної установки.....	44
2.7. Основні характеристики відцентрових вентиляторів.....	45
2.8. Висновки до розділу.....	48
3. Методика та результати експериментальних досліджень зернового пневмотранспортера.....	49
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	49
3.2. Опис експериментальної установки.....	50
3.3. Методика знімання характеристики вентилятора.....	52

3.4. Методика визначення концентрації суміші в трубопроводі транспортера..	55
3.5. Методика визначення параметрів потоку повітря в транспортному трубопроводі.....	58
3.6. Висновки до розділу.....	66
4. Охорона праці та безпека життєдіяльності.....	67
4.1 Аналіз можливих чинників та аварійних ситуацій.....	67
4.2. Умови та обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки.....	67
4.3. Моделювання процесів формування та виникнення виробничих небезпек під час транспортування зерна пневмотранспортером.....	69
4.4. Розробка заходів по запобіганню аварій та травм в процесі транспортування зерна.....	72
4.5. Висновки до розділу.....	77
5. Економічна ефективність впровадження зернового пневмотранспортера.....	78
5.1. Технічна характеристика порівнюваних машин.....	78
5.2. Методика розрахунку показників економічної ефективності.....	79
5.3. Порівняльний аналіз транспортерів.....	81
5.4. Висновки до розділу.....	83
Загальні висновки.....	84
Список використаної літератури.....	85

Анотація

Стецюк Ігор Андрійович. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів зернового пневмотранспортера.

Магістерська робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія», Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти та науки України, Вінниця, 2019.

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 47 найменувань. Основна частина роботи викладена на 89 сторінках машинописного тексту, містить 36 рисунків та 9 таблиць.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності транспортування зерна шляхом обґрунтування параметрів зернового пневмотранспортера.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішенні наступні завдання:

1. Проведено аналіз фізико-механічних властивостей насіння зернових культур.
2. Проаналізовано технології та технічні засоби транспортування сипких матеріалів.
3. Вивчено основні чинники, котрі впливають на ефективність роботи пневмотранспортера нагнітальної дії.
4. Розроблено експериментальний зразок пневмотранспортера та підібрано обладнання для експериментальних досліджень.
5. Розроблено методики дослідження впливу параметрів пневмотранспортера на ефективність транспортування зерна.
6. Встановлено вплив параметрів роботи пневмотранспортера на ефективність його роботи.
7. Розроблено практичні рекомендації щодо експлуатації пневмотранспортера нагнітальної дії.
8. Визначено економічну ефективність застосування пневмотранспортера.

Ключові слова: пневмотранспорт, конструкція, транспортування параметри, насіння, зерно.

Annotation

Stetsyuk Igor. Justification of structural and technological parameters of grain pneumatic conveyor.

Master's thesis for the degree of Master's degree in specialty 208 "Agroengineering", Vinnitsa National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnitsa, 2019.

The master's thesis consists of an introduction, 5 sections, general conclusions, a list of used sources of 47 titles. The main part of the work is laid out on 89 pages of typewritten text, contains 36 figures and 9 tables.

The aim of the master's thesis is to increase the efficiency of grain transportation by substantiating the parameters of a grain pneumatic conveyor.

To achieve this goal in the work of solving the following tasks:

1. The analysis of physical and mechanical properties of grain seeds.
2. The technologies and technical means of transportation of bulk materials are analyzed.
3. The main factors that influence the efficiency of the pneumatic conveying pump are studied.
4. The experimental model of the pneumotransporter was developed and the equipment for the experimental researches was selected.
5. Methods of studying the influence of pneumotransporter parameters on grain transportation efficiency are developed.
6. The influence of the parameters of the pneumotransporter on the efficiency of its work is established.
7. Practical recommendations on the operation of the pneumatic conveyor of injection action are developed.
8. The economic efficiency of using a pneumatic conveyor is determined.

Keywords: pneumotransport, design, transportation parameters, seeds, grain.

Вступ

Останнім часом проблема післязбиральної підготовки насіння гранично загострилася. Встановлено, що кожні 10% травмованого насіння знижують урожайність на 1,0–2,5 ц/га, причому що вищий цей рівень, то більше знижується врожайність на кожні 10% такого травмування.

Останнім часом проблема післязбиральної підготовки насіння гранично загострилася. Встановлено, що кожні 10% травмованого насіння знижують урожайність на 1,0–2,5 ц/га, причому що вищий цей рівень, то більше знижується врожайність на кожні 10% такого травмування

Головними причинами низької якості насіння є високий рівень його ушкодження під час після-збиральної обробки, а також утворення великих «завалів» необробленого зерна через недостатню продуктивність зерноочисної техніки, де воно певною мірою втрачає свою якість.

Традиційні види транспорту для зерна на зернопереробному підприємстві. На сьогодні ринок машин для транспортування зерна на території складу в Україні представлено декількома типами машин. Це мобільні та стаціонарні перевантажувачі зерна різних типів та моделей, починаючи від звичних механічних зернокидачів та закінчуючи сучасними навантажувачами із новим способом транспортування зерна до місця призначення.

Редлер (ланцюгово-скребковий транспортер) призначений для переміщення сипких вантажів, у тому числі зерна, у горизонтальному або похилому напрямку (кут нахилу робочої площини - до 15°) продуктивністю від 20 до 1500 т/год.

Виготовлений у формі металевого коробу (прямокутного перерізу), у якому рухається ланцюгово-скребкова стрічка, яка й переміщує зерно. Транспортери, як правило, мають відповідне енергозабезпечення, що визначається відстанню, на яку переміщують зерно, та продуктивністю.

Стрічкові транспортери призначені для транспортування зерна або продуктів його переробки на горизонтальній або похилій (до 15°) робочій

площині у зернопереробних підприємствах. Кожний транспортер - це закритий герметично короб, захищений від зовнішнього атмосферного впливу, зі встановленими на його кінцях натяжним та привідним гумованими барабанами.

Сипкий вантаж, що транспортується, переміщається верхньою робочою гілкою транспортера. Довжина транспортування - до 100 м, продуктивність - до 130 т/год. Енергозабезпечення такого транспортера може становити від 1,5 до 7,5 кВт.

Норії - це механічні системи для вертикального переміщення зерна, а також інших сипких матеріалів питомою масою 250–850 кг/м³.

Норія - тип стаціонарних машин, використовуваних у складі технологічного обладнання із тривалим режимом роботи всередині приміщень та у відкритому середовищі: на елеваторах, млинах, комбикормових та інших зернопереробних підприємствах. Залежно від висоти піднімання продукції, яка може досягати 65 м, продуктивність може становити від 20 до 2000 т/год. Швидкість руху машинної стрічки незначна - всього 2,2 м/с, що дає змогу обережно контактувати із зерном та переміщати його із допомогою робочого органа - ковша. Завдяки цьому механічне пошкодження (дроблення) зерна незначне - на рівні 0,2%. Тому її використання дуже бажане під час роботи із насіннєвим матеріалом.

Енергозабезпечення норії, залежно від висоти транспортування зерна, становить від 2,2 до 18,5 кВт. Шнекові навантажувачі призначені для переміщення зерна та інших сипких матеріалів на невеликі відстані - до 15 м. Спіральний металевий шнек розміщений у циліндричному металевому корпусі (трубі).

Застосовують їх у технологічних лініях елеваторів як вигрібні шнеки силосів та зерносушарок. Допустиме робоче положення - від горизонтального до нахилу із кутом 50°. Продуктивність переміщення пшениці - від 25 до 55 т/год. Потужність застосовуваних електродвигунів - від 2,2 до 7,5 кВт, тому вони характеризуються найменшими витратами електроенергії на переміщення 1 т зерна.

Шнек з огляду на своє конструкційне виконання не може самостійно, без додаткових пристроїв, із постійною якістю забезпечувати процес забору зерна із бурта та потребує відповідних механізмів. Тож, попри невеликі габаритні розміри, шнекові транспортери практично немобільні, тому їх не використовують автономно. Часто шнек із прийнятною лійкою поєднують із бункером-накопичувачем, у який спочатку вантажівка засипає зерно, а потім звідти воно подається на шнек. Металеві робочі органи та їхнє взаєморозміщення у системі шнекового конвеєра допускають пошкодження зерна до 2%.

Пневмотранспортні установки (пневматичні навантажувачі-розвантажувачі зерна) Пневматичні навантажувачі зернових культур уже тривалий час використовують у всьому світі для виконання завдань, пов'язаних із завантаженням-розвантаженням морських суден, вантажівок, вагонів, підлогових складів, зернових силосів, буртів тощо. Перше пневматичне конвеєрне обладнання використовували для вивантаження зерна із суден ще у XVIII ст. Пізніше цей новий метод «безперервного» транспорту поповнився невеликими та малими установками та поширився на нові навантажувальні. Це особлива група машин, оскільки віднедавна їх застосовують у сільськогосподарському виробництві та в зернопереробних підприємствах із використанням особливого «контрагента» для переміщення зерна - повітря.

Однак застосування пневматичної техніки у сільськогосподарських підприємствах нашої країни поки що не має достатнього поширення.

1. Стан питання та задачі досліджень

1.1. Аналіз фізичних властивостей зернових мас

Зернова маса має певні фізичні властивості - сипкість, самосортування, шпаруватість, здатність до сорбції та десорбції різних парів та газів (сорбційна ємність), тепло-, температуро- та термовологопровідність, теплоємність. Знання та 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 та 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 та 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 та найменший кут схилу мають маси насіння кулястої форми (гороху, проса, люпину). Чим більше форма зерен відрізняється від кулястої та чим шорсткуватіша їх поверхня, тим менша сипкість зернової маси. Зерна продовгуваті, тонкі, з квітковими плівками (рису-сирцю, окремих сортів вівса, ячменю та ін.) також менш сипкі.

Самосортування - це властивість зернової маси втрачати свою однорідність під час переміщення та вільного падіння. Вона зумовлюється сипкістю зернової маси та 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
Просо	20 – 27		

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

Таблиця 1.2.

Маса та 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, котрий 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 та 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 та 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):

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

Теплоємність зерна характеризується кількістю теплоти, необхідної для підвищення температури зерна масою 1 кг на 1 °С. Для вологого зерна її визначають як суму теплоємностей абсолютно сухого зерна та води:

$$C_z = \frac{100-W}{100} \cdot C_c + \frac{W}{100} \cdot C_B, \quad (1.4)$$

де $\frac{100-W}{100}$ - кількість сухої речовини в зерні;

C_c - теплоємність сухої речовини зерна ($C_c = 1550$ Дж/(кг·К));

C_B - теплоємність води ($C_B = 4190$ Дж/(кг·К)).

Теплопровідність зернової маси полягає у її здатності переносити теплоту від ділянок з високою до ділянок з нижчою температурою.

Температуропровідність - швидкість зміни температури в зерні та його теплова інерція.

Коефіцієнт температуропровідності зернової маси коливається в межах $1,7 \cdot 10^{-7}$ - $1,9 \cdot 10^{-7}$ м²/с та залежить від коефіцієнта теплопровідності (λ), питомої теплоємності (C) та щільності (d) зерна:

$$\alpha = \lambda / Cd. \quad (1.5)$$

Термовологопровідність - здатність зернової маси спрямовано переміщувати вологу із зони з підвищеною температурою разом із струменем теплоти в менш нагріті ділянки.

Інтенсивність термовологопровідності характеризується термовологопровідним коефіцієнтом d (%/К), що показує, котрий градієнт вологості відповідає температурному градієнту, рівному одиниці.

1.2. Загальні відомості про пневматичний транспорт

У сільськогосподарському виробництві пневматичні установки використовуються для транспортування зерна та продуктів його переробки.

На підприємствах зернопереробного виробництва застосовується магістральний пневмотранспорт для переміщення зерна, муки та відсівків 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 та 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 та одному місці, вертикальними ділянками; зосередженість машинного обладнання в що виключає догляд за установкою по всій трасі; пристосованість до складних місцевих умов будинків та 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.

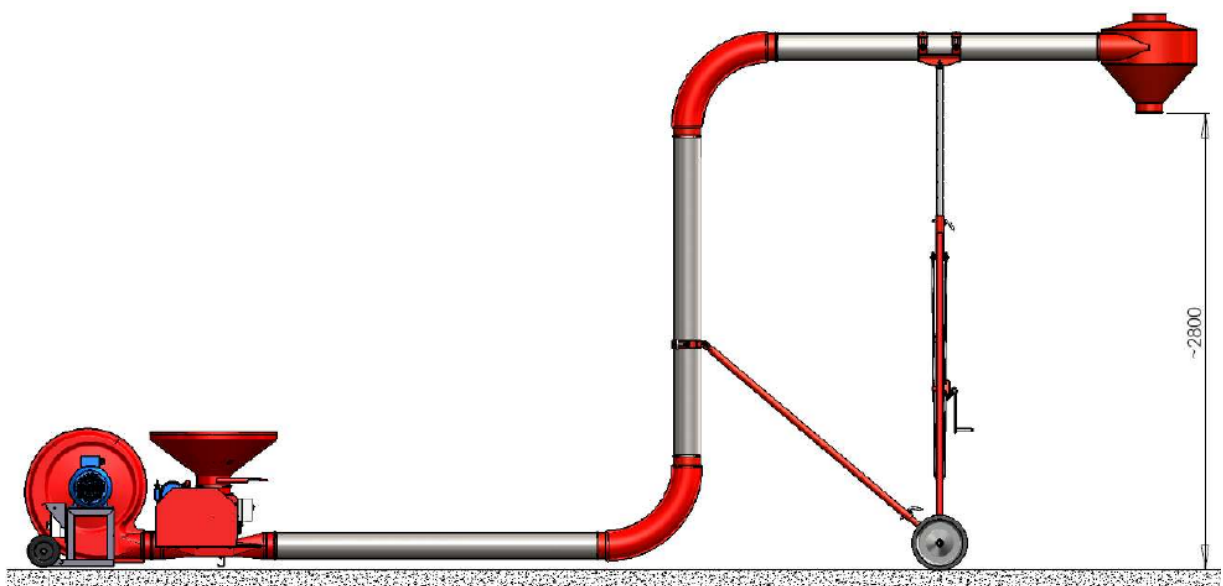


Рис. 1.1. Приклад нагнітальної системи пневмотранспорту.



Рис. 1.2. Приклад всмоктувально-нагнітальної системи пневмотранспорту.

До основних недоліків пневмотранспорту можна віднести: високі питомі витрати енергії (через порівняно низького ККД вентиляторів та 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 та липких матеріалів; складність відділення пилоподібних матеріалів від потоку повітря в кінці транспортування.

1.3. Класифікація установок пневмотранспорту

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

Залежно від тиску повітря в системі, пневмотранспортних установок, розрізняють установки низького, середнього та 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 та вище. Найбільшого поширення набули пневмотранспортні установки низького тиску завдяки їх простоті, надійності та невисокої вартості.

Залежно від способу створення повітряного потоку розрізняють пневмотранспортні установки:

- всмоктувальні, котрі працюють розрідженим повітрям;
- нагнітальні, котрі працюють напірним повітрям;
- всмоктувально-нагнітальні, що складаються з всмоктувальної та 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 та 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 та призначені для видалення сипучих відходів за межі цеху. Такі установки працюють при тиску повітря в системі до 5 кПа, тобто є установками низького тиску та можуть бути всмоктувальними та 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, котрий транспортується, концентрації пневмосуміші та відстані транспортування можуть бути всмоктувальними, нагнітальними та всмоктувально-нагнітальними.

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

1.4. 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 та залежать від численних конкретних умов.

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

Живильники застосовуються як у всмоктуючих, так та в нагнітальних системах пневмотранспорту, забезпечуючи герметизацію пневмотранспортера в

вузлах завантаження.

Як тягово-нагнітальні машин в системах пневматичного транспорту застосовуються вентилятори та повітродувки серійного виробництва - ВЦП та 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, котрий транспортується.

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

Турбогазодувки, 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 та більше повітродувок, що працюють паралельно на один загальний ресивер та 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 та дефлектори.

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

Найбільш поширеними розвантажувальними пристроями є циклони. При транспортуванні матеріалів, котрі містять пил, застосовують циклони типу УЦ.

У прямоточних системах застосовують також циклони типу К або Ц.

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

Трубопровідні мережі служать для транспортування матеріалу, зваженого в повітряному потоці, та 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 та низьконапірних пневмотранспортних систем, відводи виготовляються зварними та 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 та з підвищеними значеннями концентрації застосовують гнуті відводи. Зварні сегментні з тих же труб, що та 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, котрі 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 та 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 та стиснення при нагріванні влітку та охолодженні взимку. Найчастіше роль компенсаторів відіграють відводи. На ділянках, довжина яких перевищує 100 м, встановлюють сальникові компенсатори між нерухомими опорами.

1.5. 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 та 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 та переноситься по трубах 2, 3 в циклон 4. Тут вантаж відділяється від повітря. Вантаж виводиться з системи шлюзовим затвором 5. Повітря викидається з повітродувки 7 в атмосферу або в фільтр для очистки. Це обладнання дозволяє забирати вантаж з декількох місць та доставляти його в одну точку.

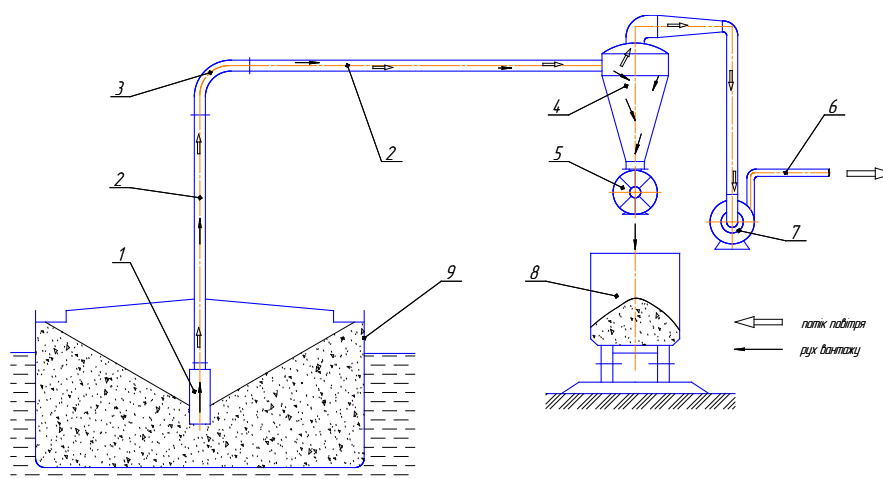


Рис. 1.3. Технологічна схема розвантаження за допомогою пневмоустановки всмоктувального типу:

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

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

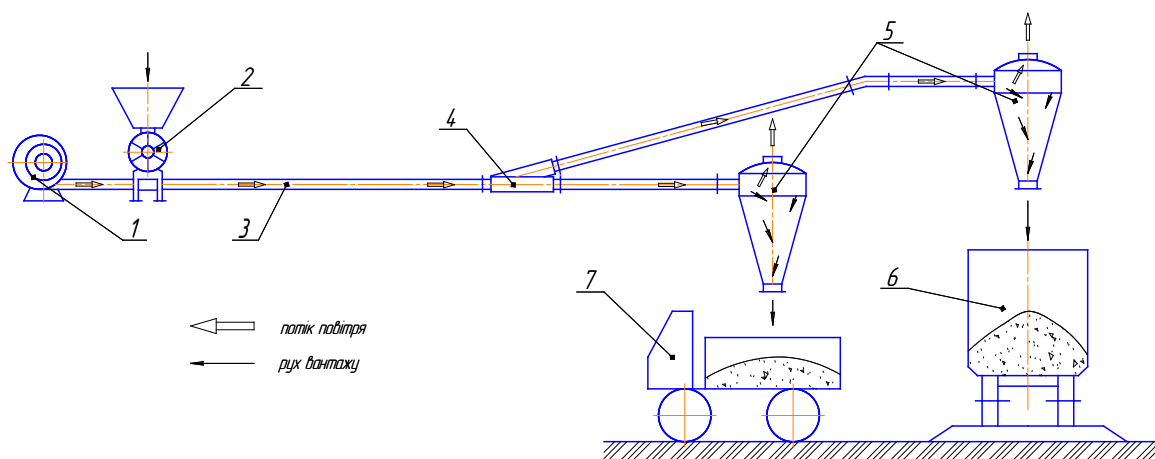


Рис. 1.4. Технологічна схема завантаження транспорту за допомогою пневмоустановки нагнітаючої дії:

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

За такою схемою повітря забирається безпосередньо з атмосфери та стискається повітродувкою 1. Транспортуємий вантаж вводиться в систему за допомогою шлюзового затвора 2, котрий дозволяє вантажу увійти в повітряний потік в трубі 3. На кінці труби повітря та вантаж відокремлюються в нагнітальному циклоні 5. Вантаж осідає вниз, а повітря викидається з циклона. Нагнітальні системи рекомендується використовувати, коли вантаж приймається в одній точці та транспортується в кілька місць призначення. Завдяки більш високому тиску та перекачуваній масі повітря, даний тип обладнання має велику продуктивність, ніж всмоктувальні установки. На практиці можливо об'єднати ці два типи обладнання в одній установці, що також об'єднає їх переваги (рис. 1.5).

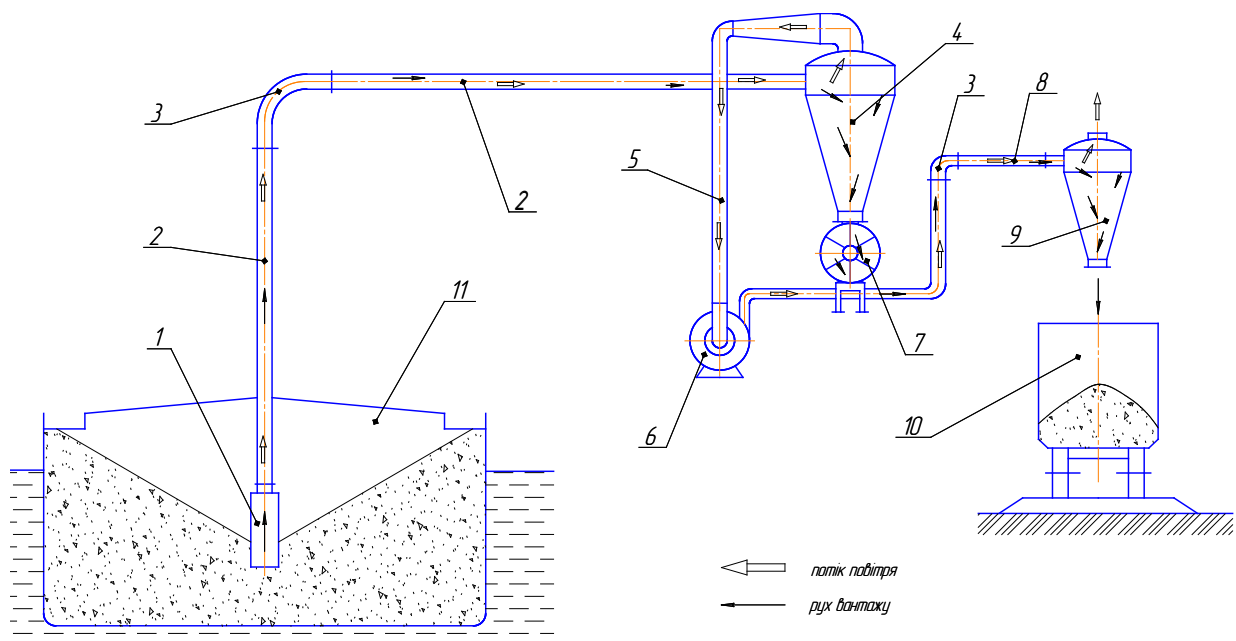


Рис. 1.5. Технологічна схема розвантаження за допомогою пневмоустановки всмоктуючої-нагнітальної дії

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; 11 – баржа.

Перша секція транспортує лінії використовує всмоктувальний режим для 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 та 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.

1.6. 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:

$$R_0 = \frac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}} \quad (1.6)$$

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%:

$$a' = 0,8 \alpha_{max}; \quad (1.7)$$

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

$$a' = \alpha_{max} \quad (1.8)$$

в) для сортованого матеріалу:

$$\alpha' = \frac{(\alpha_{max} - \alpha_{min})}{2} \quad (1.9)$$

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 та 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 та зважений в ньому матеріал.

Характер руху частинок матеріалу в значній мірі залежить від форми, розмірів, ваги частинок, швидкості та 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 та 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, котрий транспортується, тобто концентрацією суміші, по якій проводяться всі основні розрахунки установки.

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

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_n} \quad (1.10)$$

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:

$$\delta = \frac{\mu \cdot \rho}{\rho_n} \quad (1.11)$$

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 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 та 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 аеродинамічною 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 при швидкості, в середньому, на 100% вищій відповідної швидкості повітря для вертикальних труб при однакових розмірах труб та однаковою подачі матеріалу.

1.7. Завдання досліджень

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

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності транспортування зерна шляхом обґрунтування параметрів зернового пневмотранспортера.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз фізико-механічних властивостей насіння зернових культур.
2. Проаналізувати технології та технічні засоби транспортування сипких матеріалів.
3. Вивчити основні чинники, котрі 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 зерна.

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

7. Розробити практичні рекомендації що до експлуатації пневмотранспортера нагнітальної дії.

8. Визначити економічну ефективність застосування пневмотранспортера.

2. Теоретичні дослідження процесу переміщення зерна 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 та сила тертя F .

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

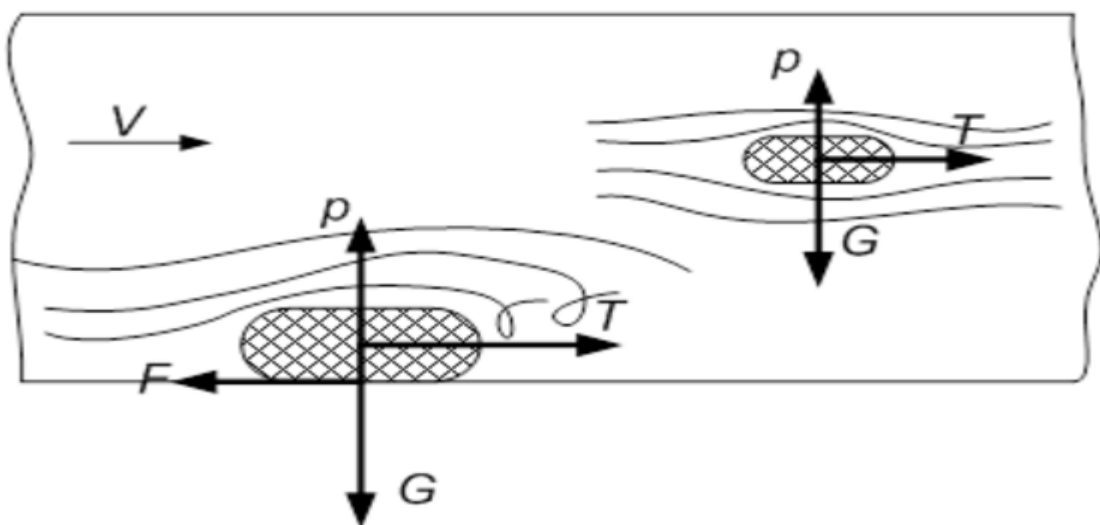


Рис. 2.1. Сили, котрі діють на частинку матеріалу в горизонтальному трубопроводі.

При збільшенні швидкості повітря настає момент, коли підйомна сила ще не відірвала частку від дна труби, а лобовий тиск вже перевищило силу тертя, та 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 та 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 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 та застосовуються для подачі всіх видів сипучих вантажів на відстані до 1500 м та далі.

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

Відмінною особливістю нагнітальних пневмотранспортних установок середнього та 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 трубопроводі 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.

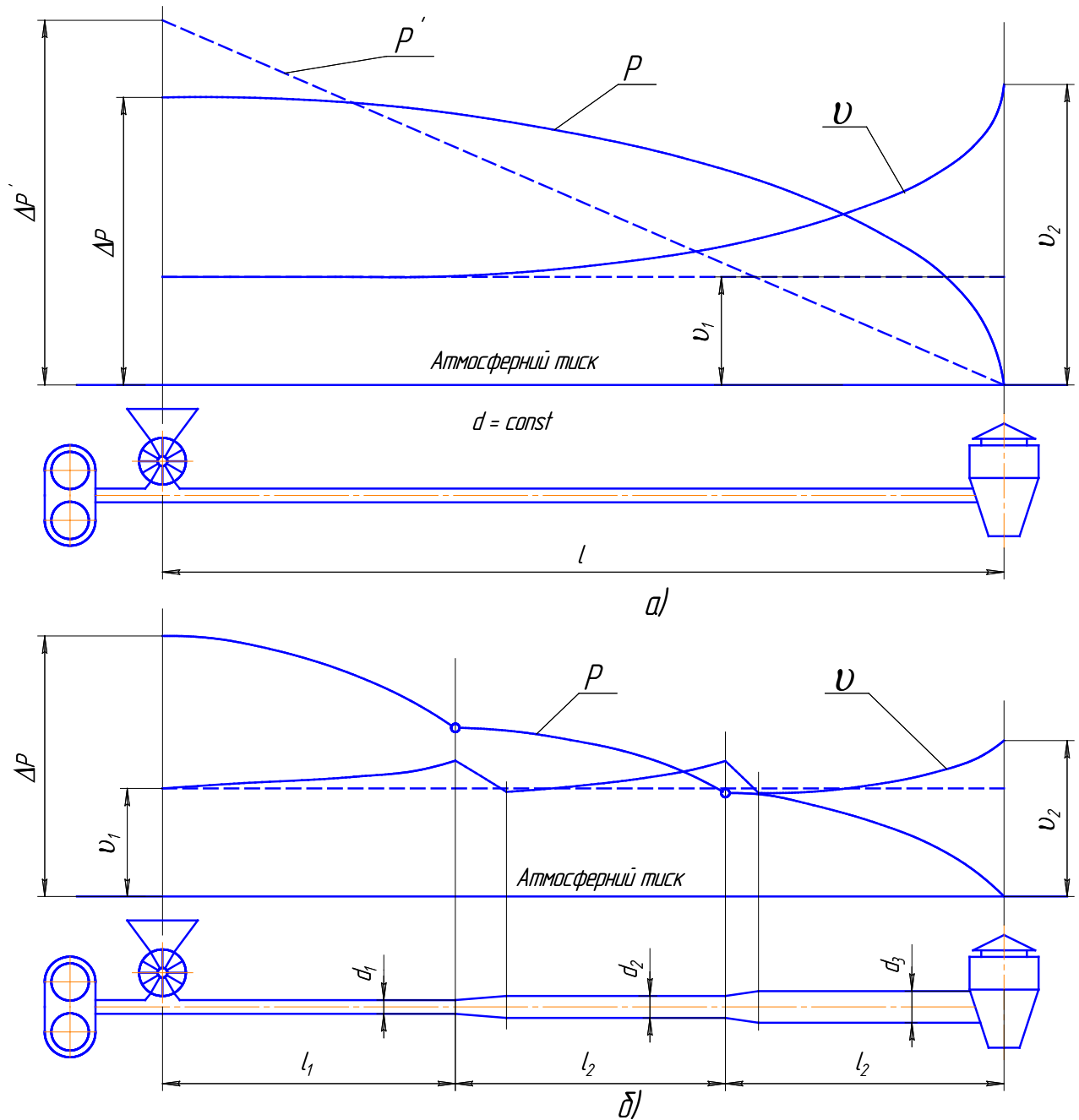


Рис. 2.2. Характер зміни тиску P та швидкості повітряного потоку v по довжині l транспортного трубопроводу:

а - при постійному діаметрі трубопроводу; б - при ступінчастому трубопроводі.

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.

Однак досконалої методики розрахунку та 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 вдіє на неї з боку потоку повітря, повинна перевищувати суму інших діючих на неї сил, а саме - ваги, тертя, інерції.

Існують три важливі чинники, котрі 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, котрі 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 та 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, та різниця між ними є значенням дійсної швидкості всіх частинок вантажу.

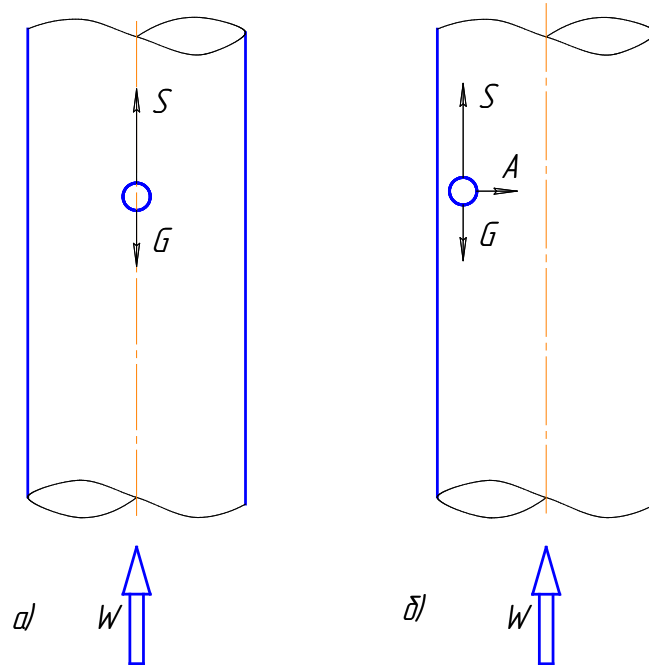


Рис. 2.3. Схема сил, котрі діють на частинки вантажу в вертикальному повітряному потоці.

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 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 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 та намагається перемістити частку ближче до центру труби.

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

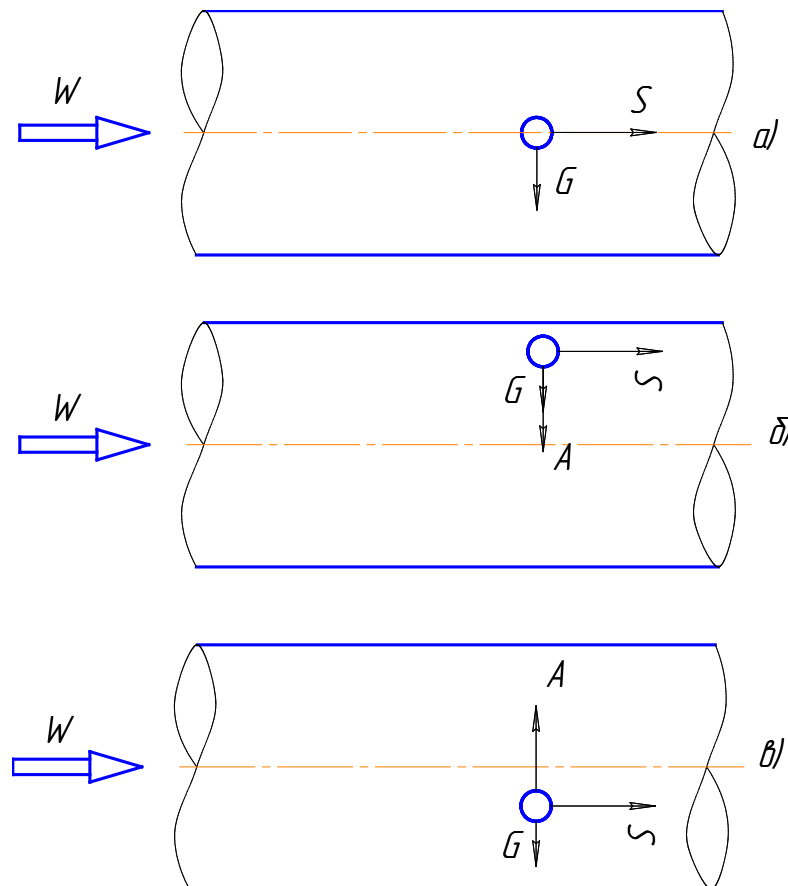


Рис. 2.4. Схема сил, котрі діють на частинки вантажу під час транспортування в горизонтальних трубопроводах.

Частка вантажу в потоці в центрі труби (рис. 2.4,а) рухається під дією

сили опору потоку (штовхаючої сили) S , що діє вправо та сили тяжіння G , що діє вниз. Якщо частка близька до стінки труби, як на рис. 2.4,б та 2.4,в, починає діяти підйомна сила A . Нижче осьової лінії труби ця сила протидіє силі тяжіння частинки.

2.3. Аналіз чинників, котрі 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 та стінкою труби, імпульси сили всіх частинок, на які діє повітряний потік. Така система транспортування має назву Частинки вантажу переміщуються транспортування матеріалу в розрідженому стані. в підвішеному стані або підстрибуючи та переносяться в трубі в більш-менш однорідній суміші з повітрям. Рівень концентрації виражається безрозмірним показником μ - співвідношенням суміші. Цей показник оцінює співвідношення кількості перенесеного перекачаного повітря за той же проміжок часу. На рис. 2.5 показано переміщення частинок вантажу в вертикальних та 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 та 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 суміші приблизно від 10 до 20, як показано на рис. 2.5, а. Якщо ж швидкість потоку повітря стає близька до підтримуючої швидкості та співвідношення суміші становить близько 30, то виникає явище відділення вантажу та повітря (див. рис. 2.5, б.)

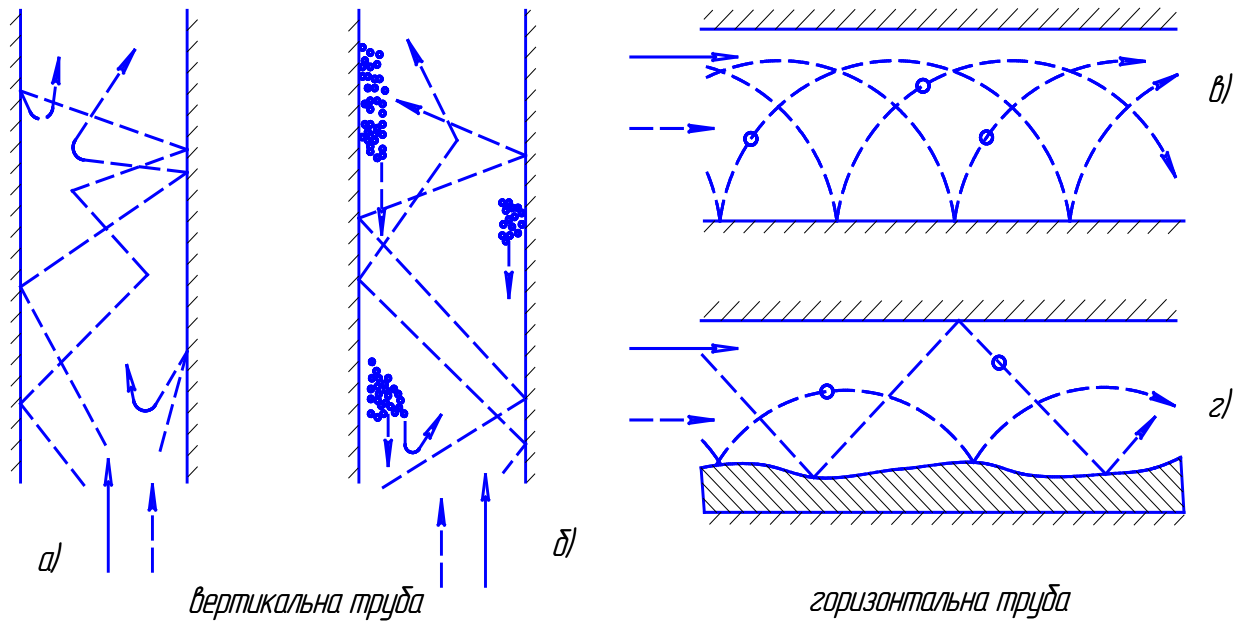


Рис. 2.5. Переміщення частинок вантажу в вертикальних та горизонтальних трубах у розрідженому стані.

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. 5d, 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, котрий 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 повітря дозволяє уникнути типу вантажу та може складати від 10 до 30 м/с. Якщо швидкість впаде, вантаж ляже на дно труби та це призведе до утворення затору. Швидкість, при якій може виникнути затор залежить від конфігурації матеріалопроводу в кожному окремому випадку. Підвищення швидкості 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) та коефіцієнта корисної дії (η):

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

Потік повітря це добуток площі перерізу труби A та 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, та 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 та 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 розрахунках 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

та 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 та швидкості повітря в трубі.

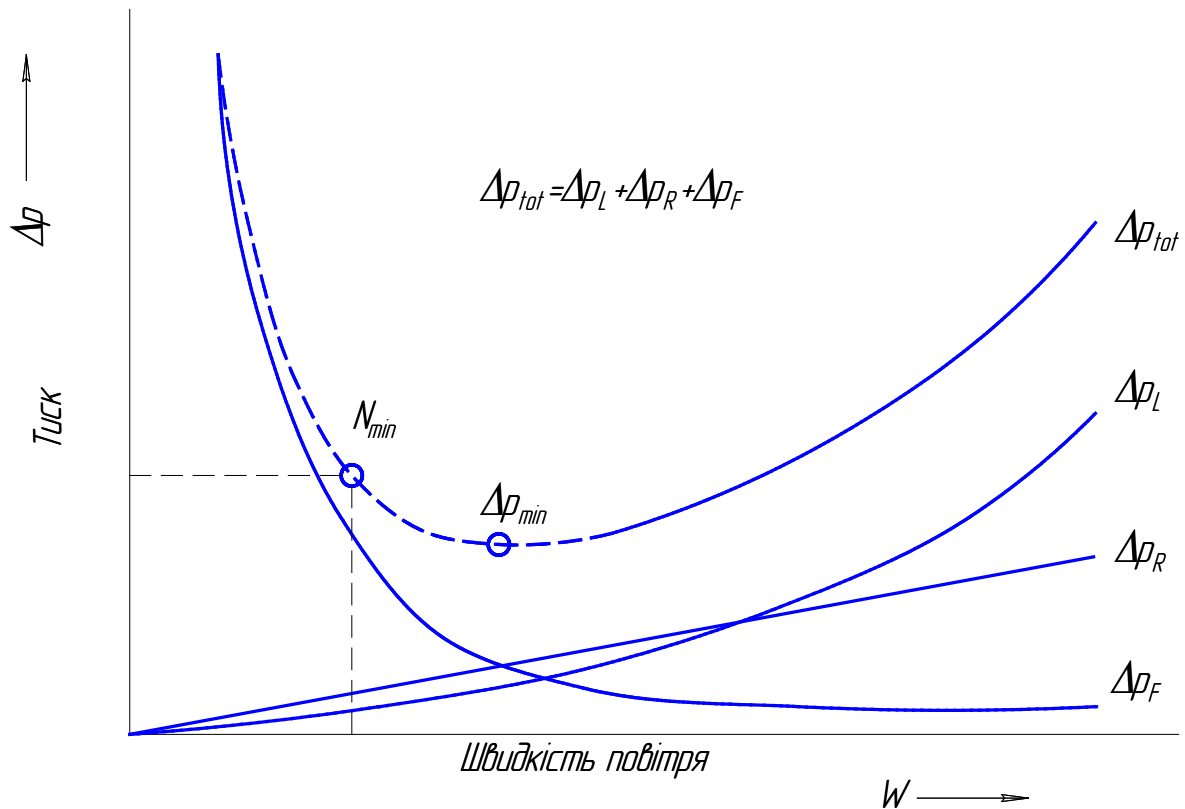


Рис. 2.6. Графік зміни втрат тиску.

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 та конфігурації транспортуючих труб, але параболічна форма характерна для всіх пневматичних транспортуючих систем.

Потужність нагнітаючої установки залежить від тиску Δp та швидкості повітря w . Робоча енергоспоживанням N_{min} не збігається з точкою мінімального тиску. Робочий діапазон транспортування розрідженого стану обмежений більшою швидкістю повітря та 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, котрий 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 та після циклону, коли вантаж потрапляє в нагнітаючу гілку матеріалопроводу. Еквівалентна довжина транспортування може бути визначена для вираження значення опору прискоренню та його частки в усіх втратах тиску. Вона визначається як довжина горизонтальної транспортної труби, яка дає ті ж втрати тиску при незмінній швидкості транспортування.

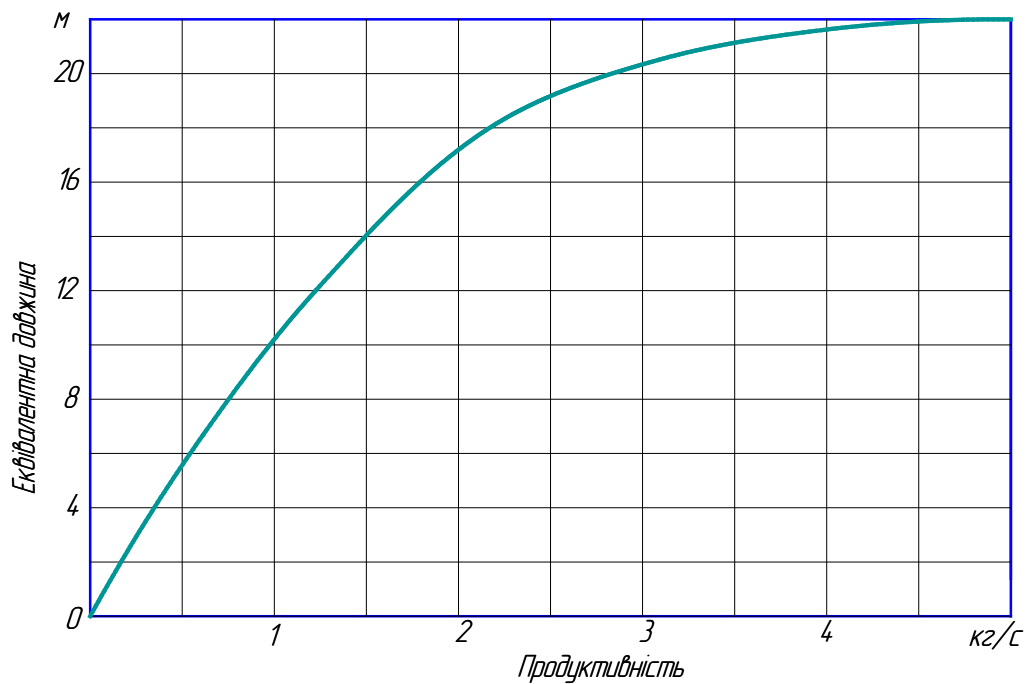


Рис. 2.7. показує криву, отриману експериментальним шляхом.

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 та незалежною від продуктивності устаткування. У всмоктуючих установках присутні також втрати, обумовлені типом всмоктувального сопла. Значення цих втрати можна приймати від нуля та до значення втрати на всмоктування в соплі.

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 та потік повітря в коліні транспортної труби.

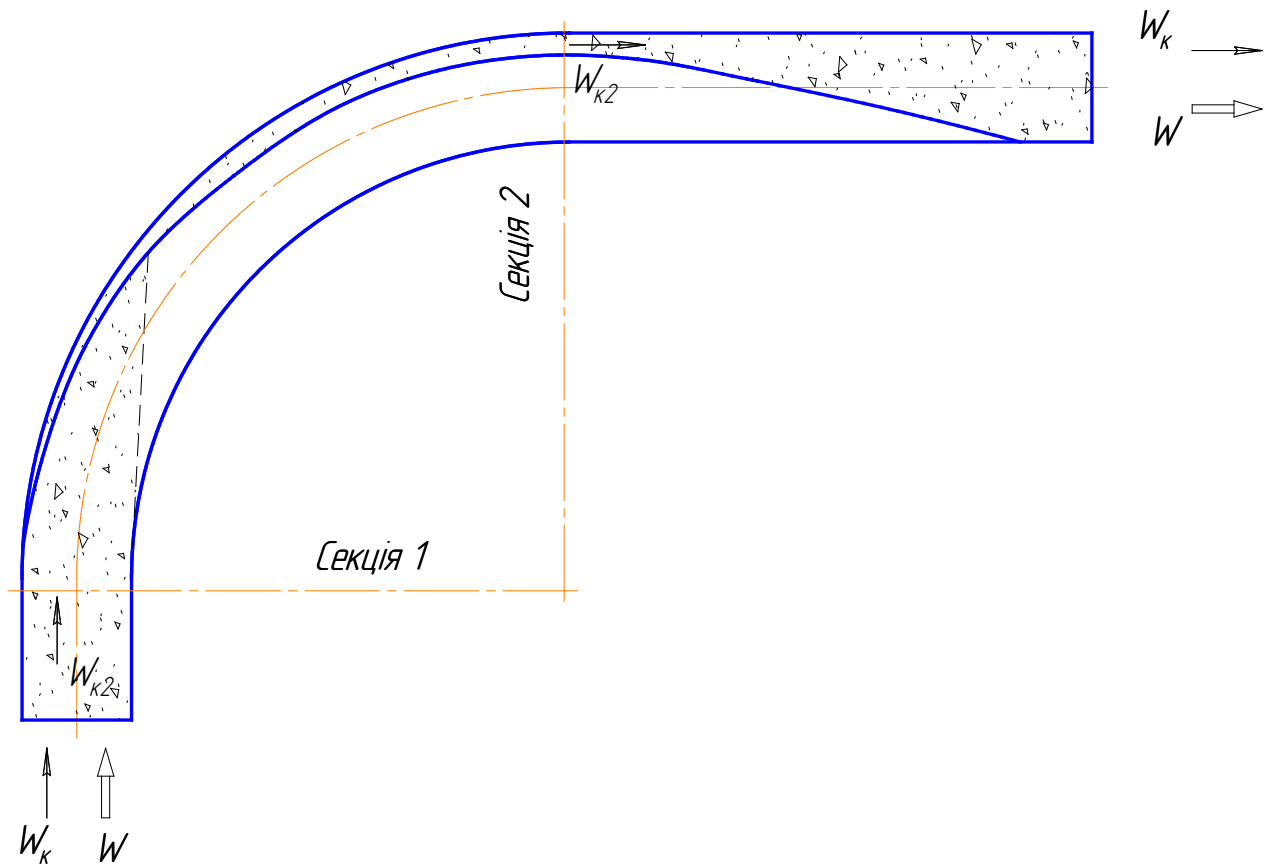


Рис. 2.8. Схема руху вантажу та повітря в коліні транспортної труби.

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 та секції II матеріал скупчується біля зовнішньої стінки 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 та 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 та з аналогічною втратою тиску. На рис. 2.9 показує еквівалентну горизонтальну довжину коліна 90° з нормальним радіусом кривизни від чотирьох до шести діаметрів труби.

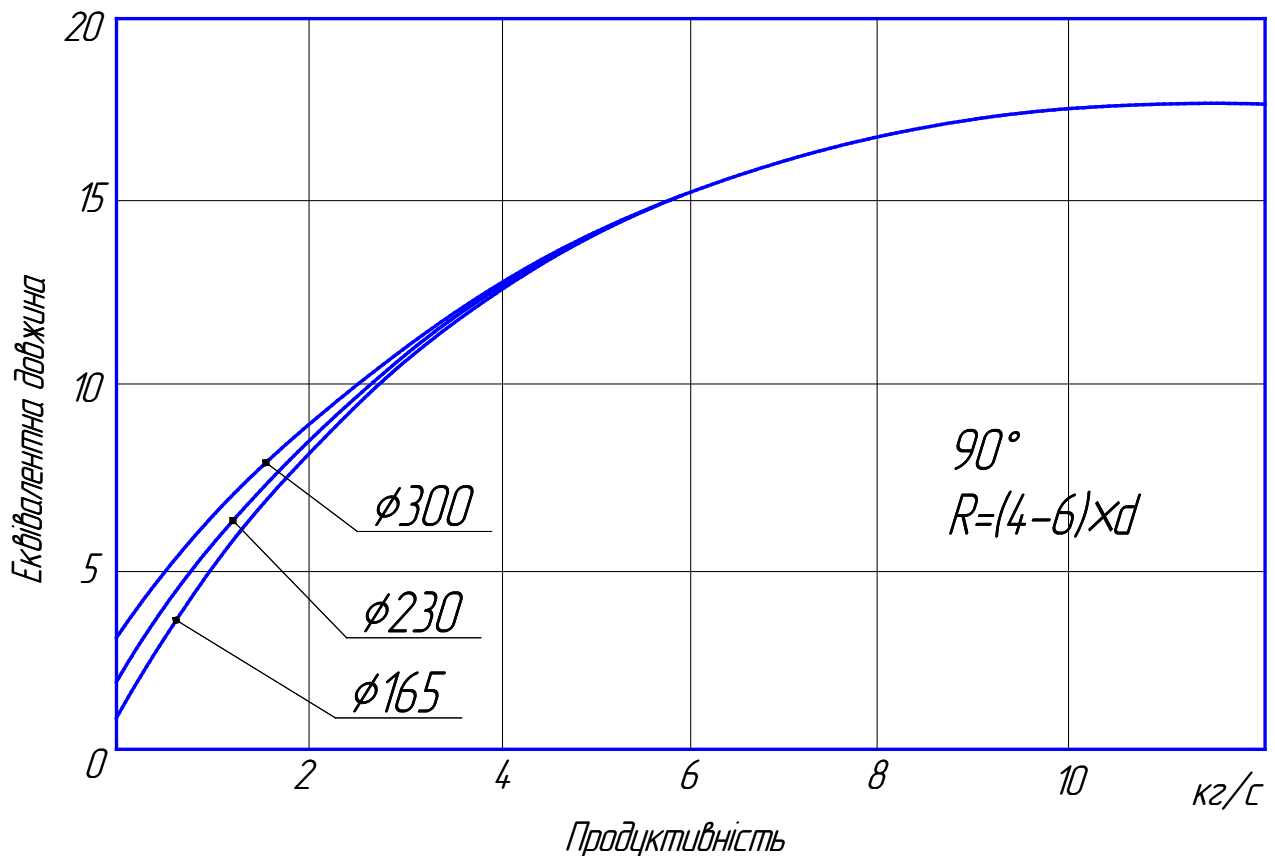


Рис. 2.9. Еквівалентна довжина труби для колін різного діаметру.

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 та коліном між горизонтальною та вертикальною трубою дуже мала та 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 в цьому випадку приймається допущення, що падіння тиску на одному метрі вертикальної ділянки рівне дворазовому падінню 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 (м³/год);
- Довжина та конфігурація трубопроводу;
- Фізико-механічні властивості вантажу.

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

Для попередження завалів повинна враховуватися крупність частинок вантажу та 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:

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot \gamma_n}{\pi \cdot v \cdot \gamma_H}}, \quad (2.7)$$

де Q - секундна витрата повітря, м³/с;

γ_n - питома вага атмосферного повітря;

v - середня швидкість повітряного потоку, м/с;

γ_n - питома вага повітря на початку нагнітального трубопроводу, кг/м³.

Тоді секундна витрата повітря

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

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

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

де G_M - 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 пневмосуміші складаються з втрат тиску на надання кінетичної енергії аеросуміші, пристроях, в транспортному трубопроводі та втрат тиску на виході з трубопроводу:

$$P_{ну} = P_{тр} + P_{ке} + P_{зп} + P_m, \quad (2.10)$$

де $P_{тр}$ - втрати тиску на тертя в транспортному трубопроводі;

$P_{ке}$ - втрати тиску на надання кінетичної енергії аеросуміші;

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

P_v - втрати тиску на виході з трубопроводу.

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

Необхідний тиск, кг/м², визначають за формулою:

$$P = C \cdot P_{ну}, \quad (2.11)$$

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

Потрібна часова витрата повітря з урахуванням втрат через живильник, м³/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 та витрати при безпосередньому з'єднанні машини з електродвигуном через муфту визначається за формулою

$$N = \frac{z \cdot (Q' / 3600) \cdot P}{102 \cdot \eta_m \cdot \eta_{пр}}, \quad (2.13)$$

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 та 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, котрий враховує перспективи продуктивності;

Швидкість повітря розраховують за рівнянням:

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

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:

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

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

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 $\Delta P_{нов} = f(V)$, $N_{роб} = f(V)$ та $\eta_{нов} = f(V)$ при $n = const$. Зазвичай ці характеристики представляються у вигляді графіків (рис. 2.10).

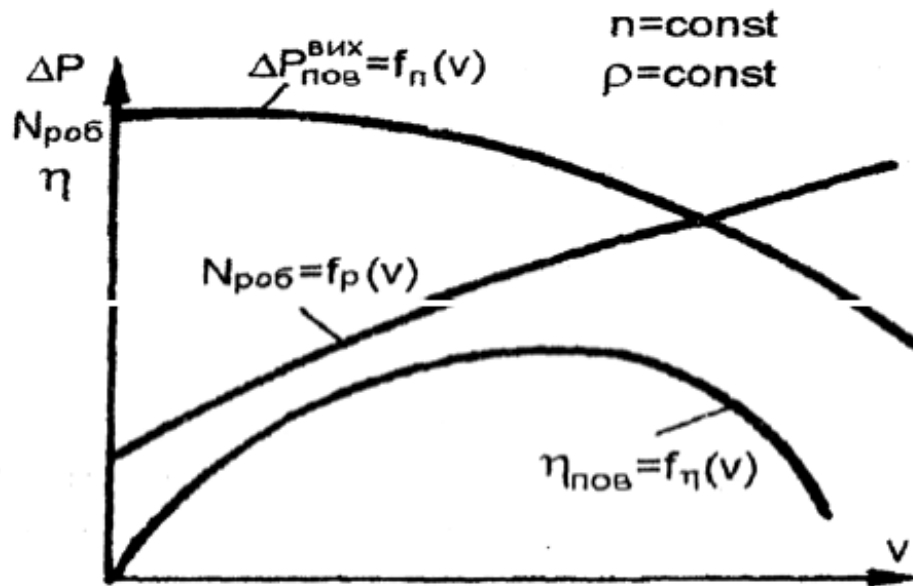


Рис. 2.10. Характеристика відцентрового вентилятора:

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

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 $\eta_{нов} = 0$, 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 $\Delta P_{нов} = f(V)$ 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.

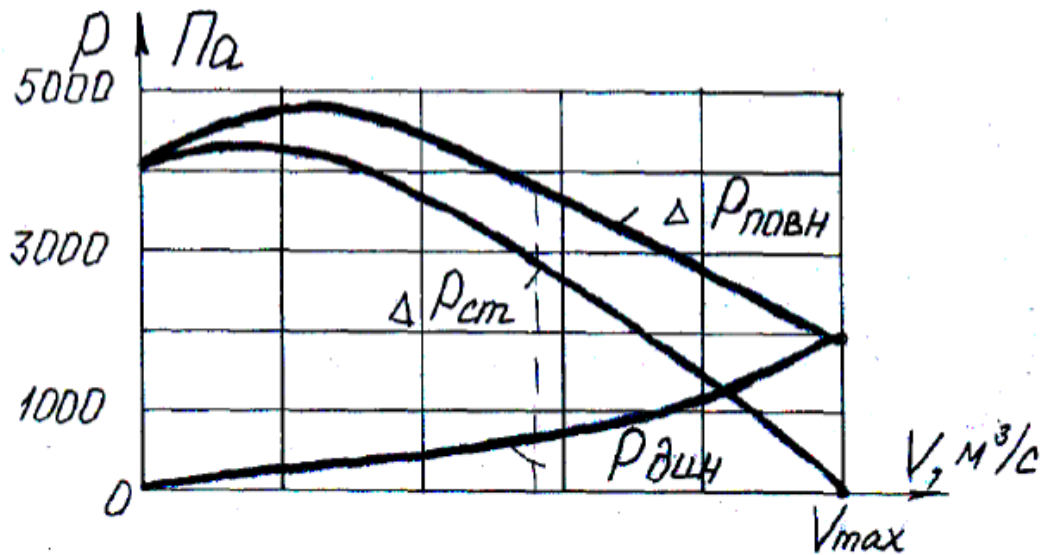


Рис. 2.12. Залежність тиску на вихлопі вентилятора від витрати повітря.

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

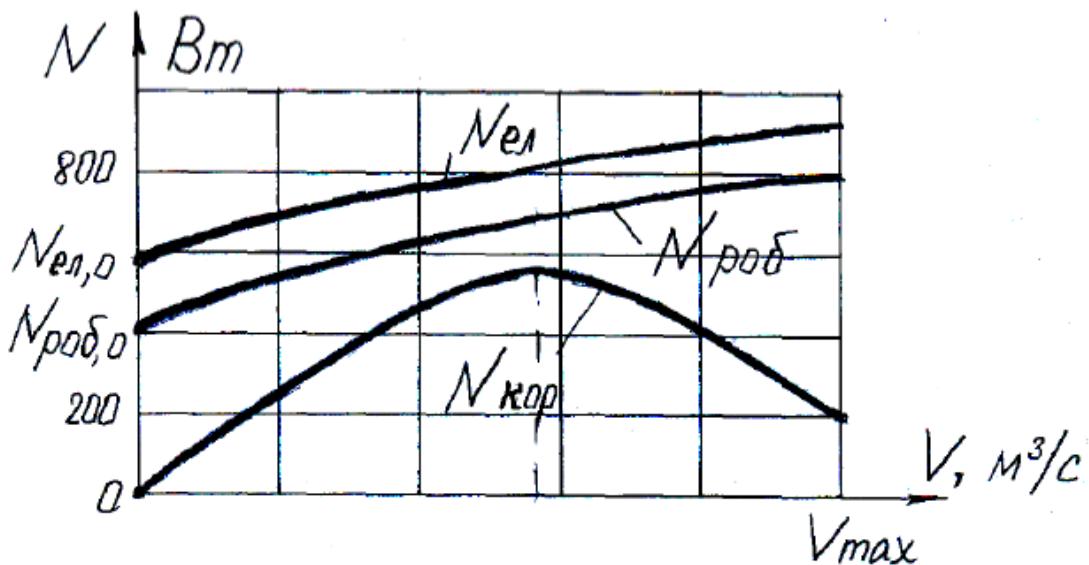


Рис. 2.13. Залежність потужності, що споживається та потужності вентилятора, що витрачається від витрати повітря.

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

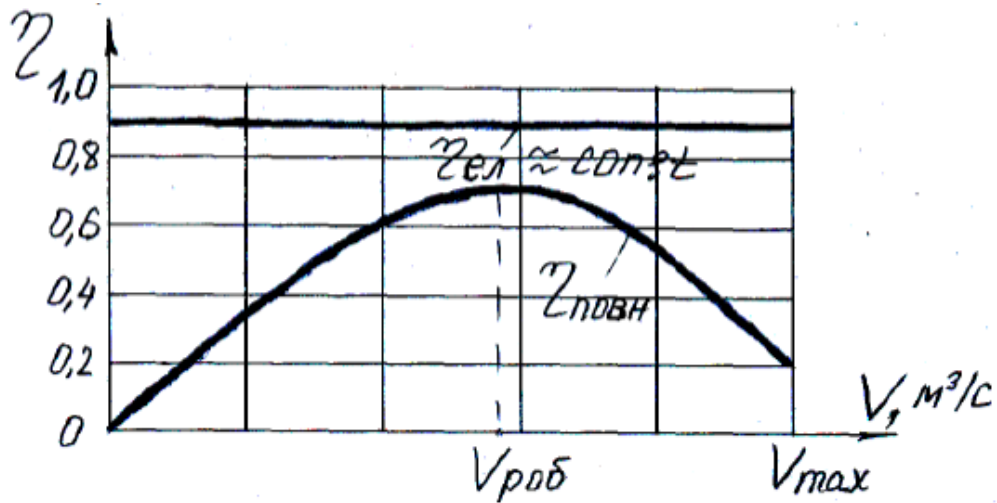


Рис. 2.14. Залежність ККД вентилятору від витрати повітря.

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 та швидкість росту $N_{кор}$ вповільнюється. При певному значенні витрати газу (максимальне значення ККД) подальше збільшення витрати газу приведе до падіння $\Delta P_{нов}$ та $N_{кор}$, а значить та $\eta_{нов}$.

2.8. Висновки до розділу

Теоретичний аналіз пневмотранспортерних установок нагнітальної дії дозволив визначити основні фактори, котрі впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів.

3. Методика та результати експериментальних досліджень зернового пневмотранспортера

3.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень процесу транспортування зерна за в пневматичному пневмотранспорті нагнітальної дії складена з метою визначення оптимальних параметрів та 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. Обґрунтувати конструктивну схему експериментального зразка пневмотранспортера нагнітальної дії.
2. Розробити експериментальний зразок пневмотранспортера.
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.

Для виконання програми експериментальних досліджень будуть використовуватися як стандартні так та 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.

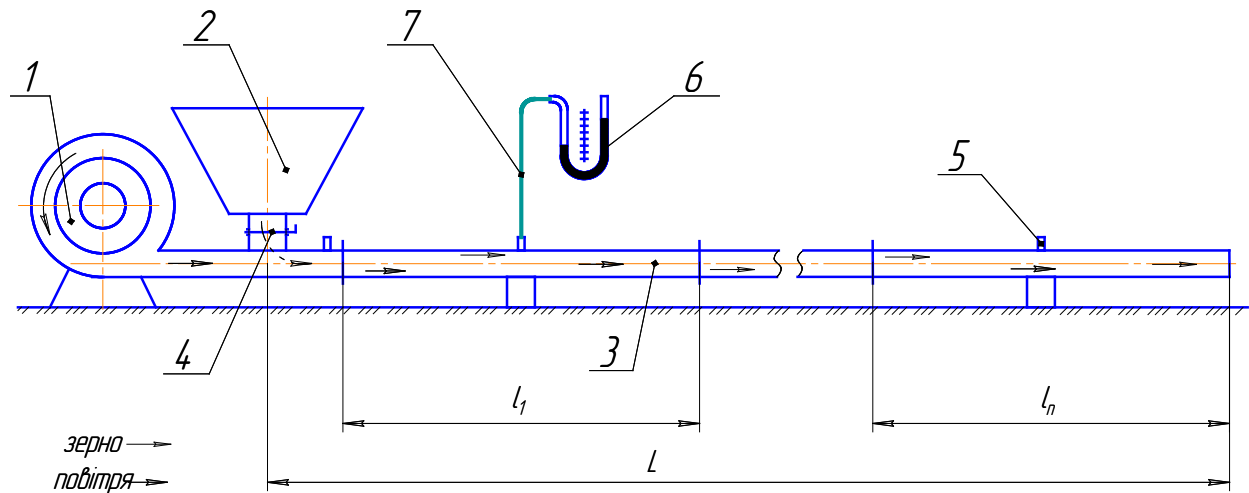


Рис. 3.1. Технологічна схема експериментальної установки пневмотранспортера нагнітальної дії:

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

Для створення потоку повітря в транспортному трубопроводі використовується нагнітальна установка 1 у вигляді відцентрового вентилятора діаметром $D_e = 250$ мм, котрий 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 та 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. 2.2.

Рис. 3.2. 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.

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

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

Рис. 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.

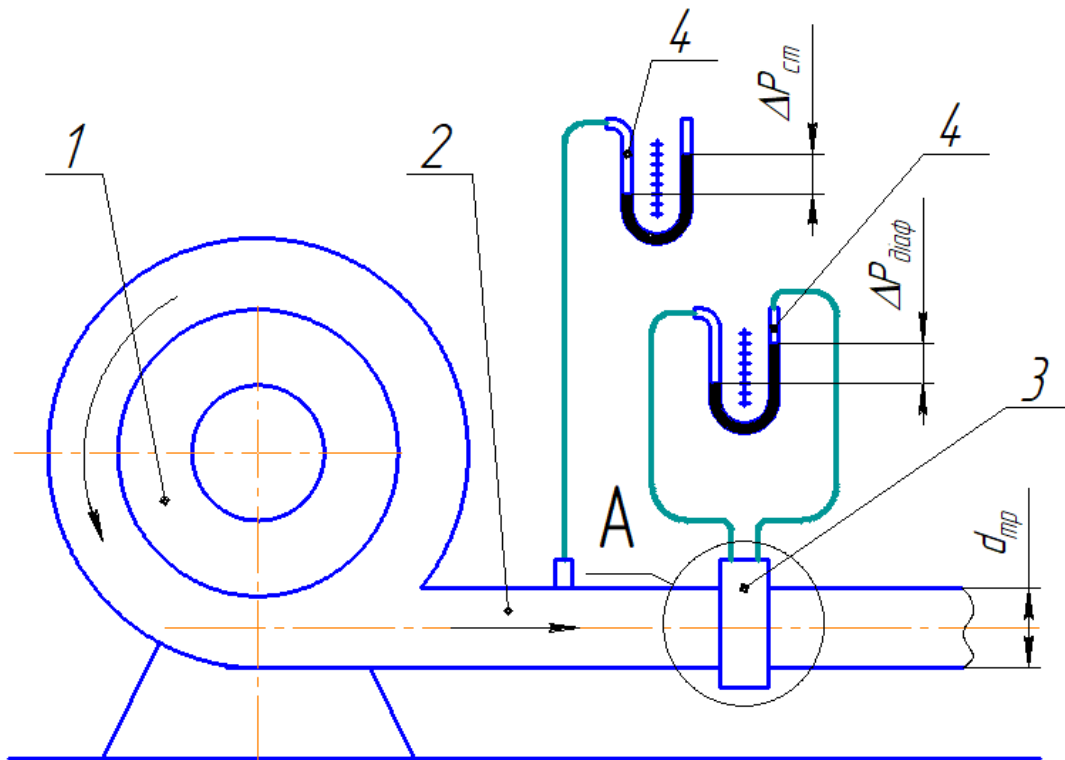


Рис. 3.4. Схема установки для зняття характеристик вентилятора:

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

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

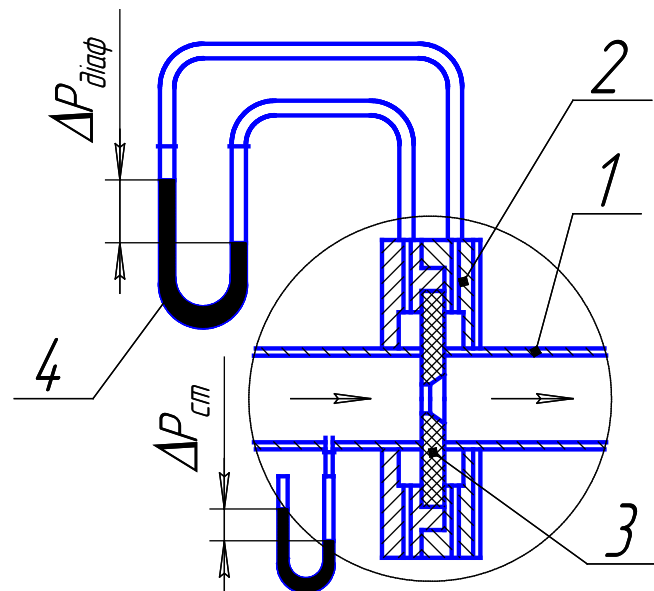


Рис. 3.5. Вузол встановлення діафрагми:

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

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 $\Delta P_{діаф}$. За цими параметрами визначаються всі інші характеристики вентилятора.

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

1 мм вод. ст. = 9.81 Па;

1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

Густина повітря визначається з виразу:

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

де $P_a = P_{бар} + P_{ст}$ – 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:

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

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 $F = \pi d^2/4 = 0,00196$ м² – 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 $\Delta P_{\text{пов}}$, $P_{\text{ст}}$, $P_{\text{дин}}$, $N_{\text{ел}}$, $N_{\text{роб}}$, $N_{\text{кор}}$, $\eta_{\text{пов}}$ та будують експериментальну характеристику вентилятора.

3.4. Методика визначення концентрації суміші в трубопроводі транспортера

Як вже згадувалось в п. 1.6 одним з основних показників, котрі впливають на процес пневматичного транспортування сипучих матеріалів, є насиченість повітря частками матеріалу, тобто концентрація суміші.

Для визначення вагової концентрації суміші за формулою (1.10) експериментальними дослідженнями передбачалось визначення кількості зерна, яка поступає в трубопровід з бункера за одиницю часу при різних положеннях заслінки (рис. 3.6).

Рис. 3.6. Вузол дозування насіння в транспортуючий канал

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

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

Для визначення вагової концентрації суміші за формулою (1.10) витрату транспортного повітря за одиницю часу приймаємо з п. 3.4 за формулою (3.4).

Об'ємну концентрацію матеріалу визначаємо за формулою (1.11).

Визначення площі отвору, через який подається насіння виконували графічним методом в середовищі КОМПАС-3D V 16 (рис. 3.7).

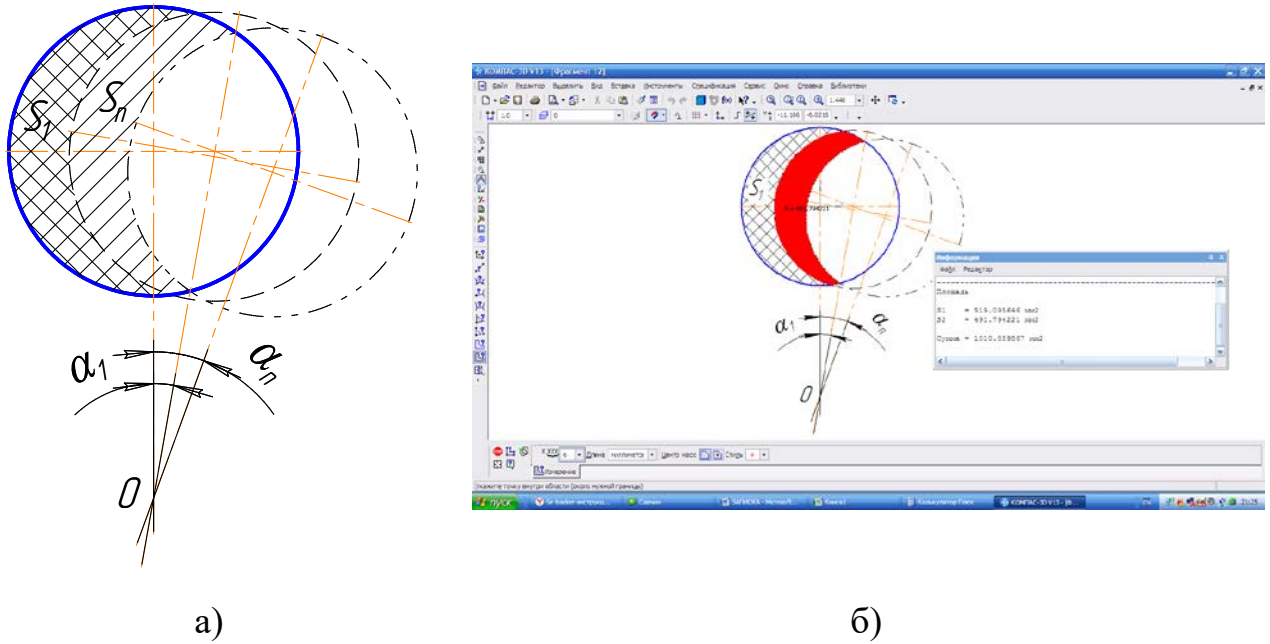


Рис. 3.7. Визначення площі перетину вихідного отвору дозатора насіння
а – схема; б – вікно середовища КОМПАС-3D V 16.

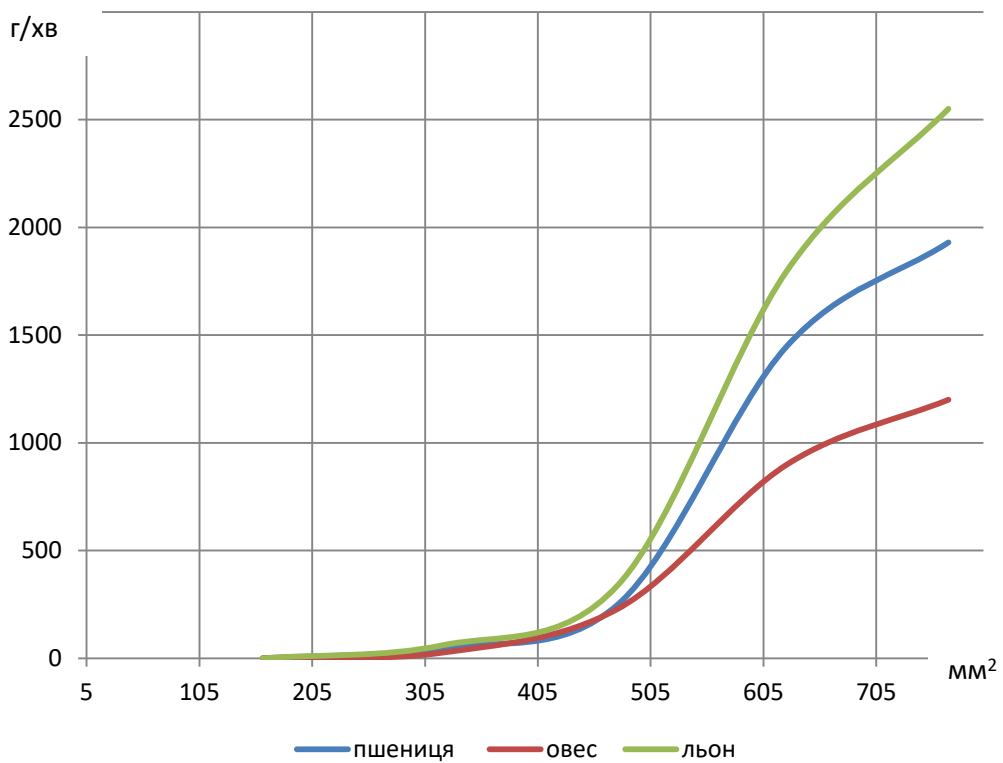


Рис. 3.8. Результати визначення продуктивності дозуючого пристрою.

Вища продуктивність дозуючого пристрою за насінням льону зумовлена фізико-механічними властивостями насіння, а саме коефіцієнтом внутрішнього тертя та кутом природного відкосу.

Залежність концентрації суміші від подачі зерна в трубопровід представлена на рис. 3.9.

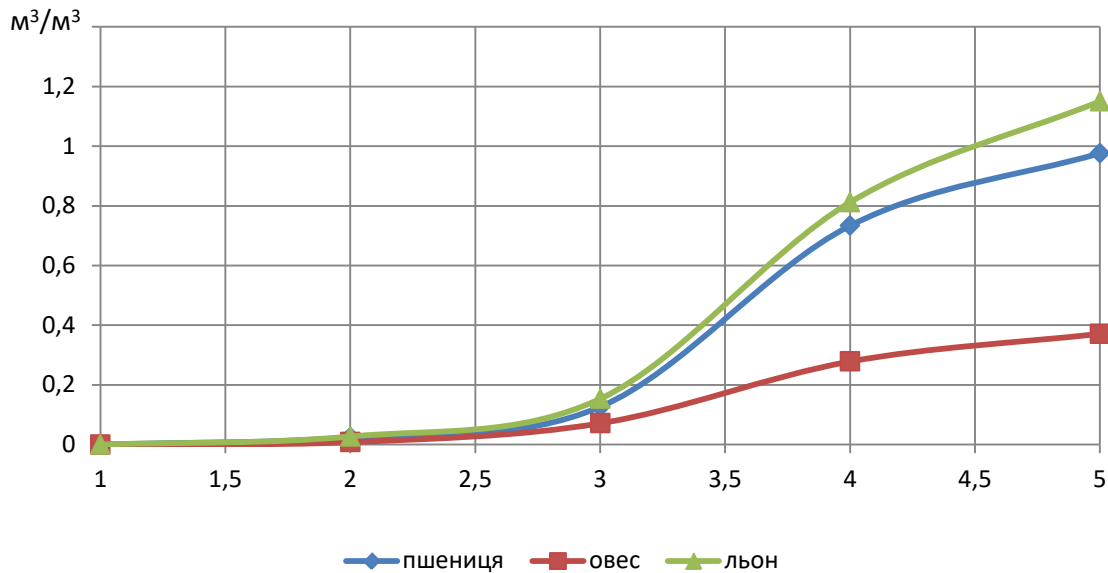


Рис. 3.9. Криві об'ємної концентрації суміші.

Аналізуючи рис. 3.9 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 та витратою повітря вентилятором $Q_e = 1,2$ 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.

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. 3.10).

Технічна характеристика анемометра UT-362 наведена в таблиці 3.1.



Рис. 3.10. Анемометр UT-362.

Таблиця 3.1

Технічна характеристика анемометра УТ-362

№	Показник	Значення	Похибка, %
1	Швидкість повітряного потоку, м/с:	0...10	3
		10...30	5
2	Повітряний потік, м ³ /хв	0,001...9999×100	-
3	Температура анемометра, °С	0...90	3
4	Температура лопатей, °С	0...90	3

а)

б)

в)

Рис. 3.11. Визначення швидкості повітряного потоку:

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

Прилад дозволяє отримувати з достатньою точністю значення швидкості повітряного потоку на вході та 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).

Результати досліду приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

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. 3.2. побудована залежність (рис. 3.12).

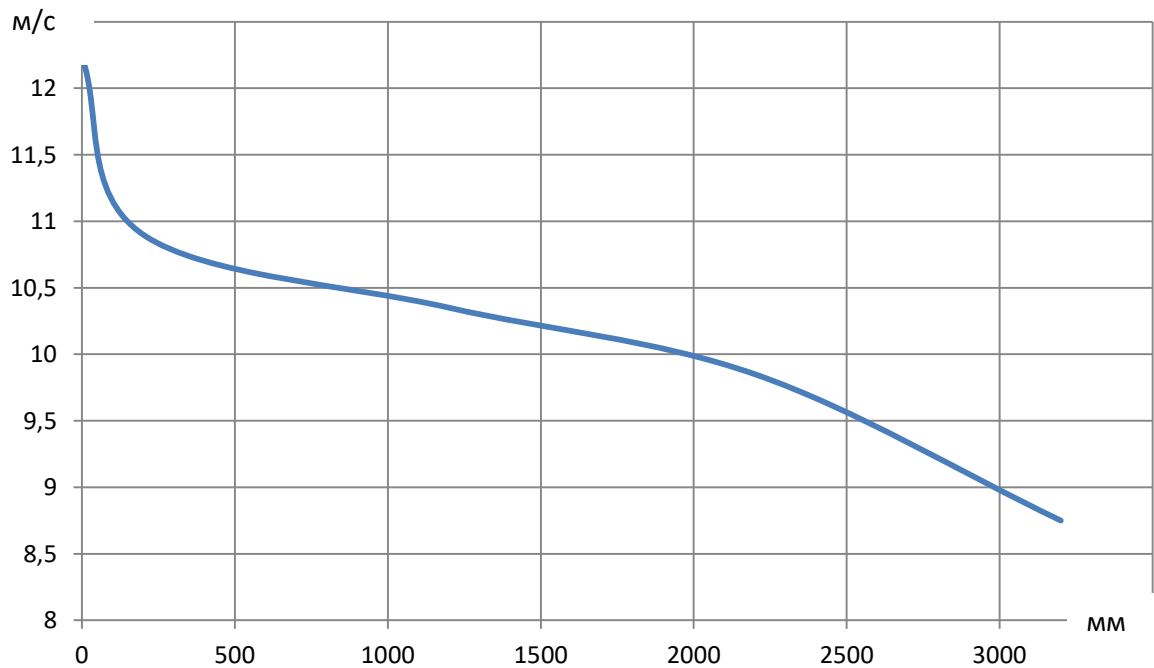


Рис. 3.12. Крива зміни швидкості повітряного потоку по довжині трубопроводу.

Аналізуючи дані табл. 3.2 та рис. 3.12 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.

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. 3.13б). Манометр приєднували до ніпелів, встановлених в трубопроводі.

На першому етапі досліджень визначали зміну тиску повітряного потоку по довжині трубопроводу транспортера.



а)



б)

Рис. 3.13. Вимірювання статичного тиску в трубопроводі пневмотранспортера.

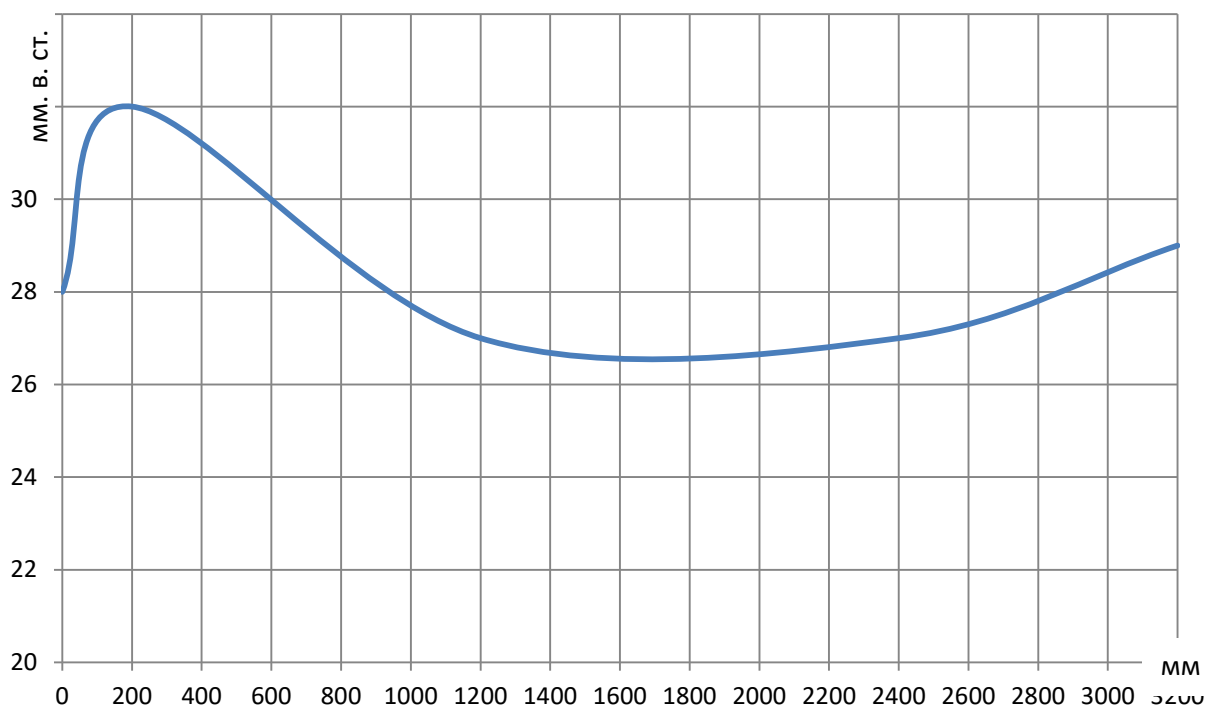


Рис. 3.14. Крива зміни статичного тиску в середині трубопроводу пневмотранспортера.

Зростання тиску на початку трубопроводу зумовлене зменшенням перерізу пневмоканалу в місці звуженням 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. 3.4. Результати досліджень наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Результати дослідження тиску в середині трубопроводу (мм. рід. ст.) пневмотранспортера за різної концентрації насіннєво-повітряної суміші

Подача насіння, г/хв	Довжина трубопроводу, мм				
	0	200	1200	2400	3200
1	2	3	4	5	6
Пшениця					
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
Овес					
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
Льон					
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. 3.3. побудовано залежності (рис. 3.15...3.17).

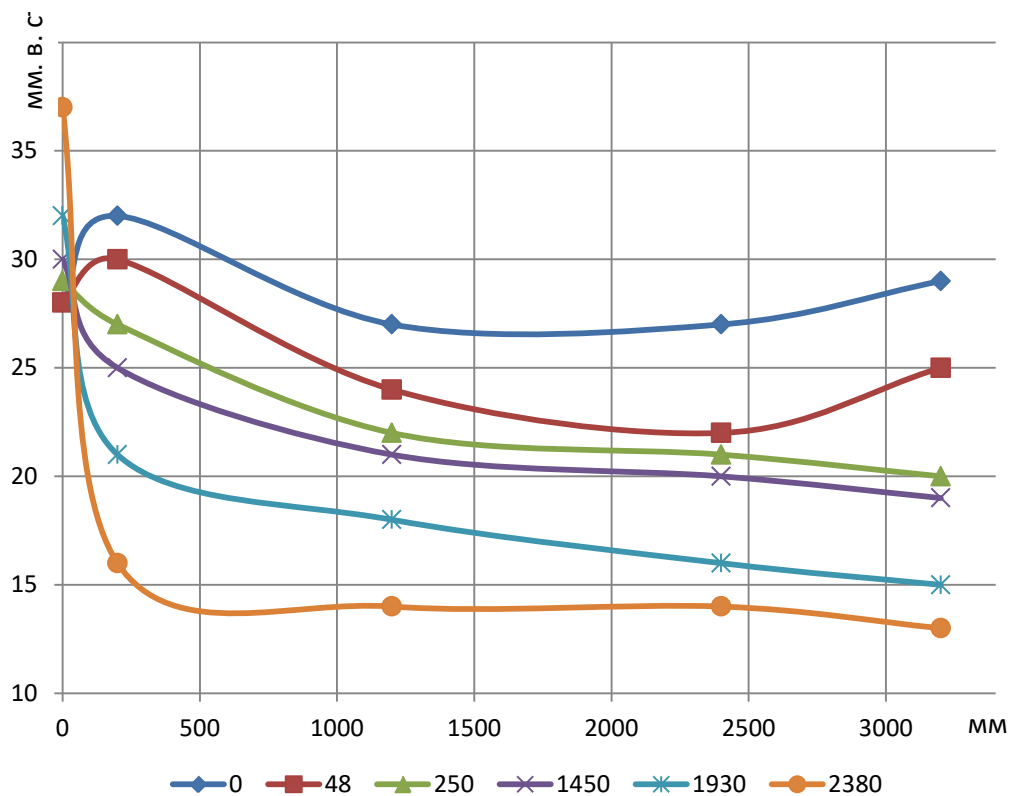


Рис. 3.15. Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування пшениці.

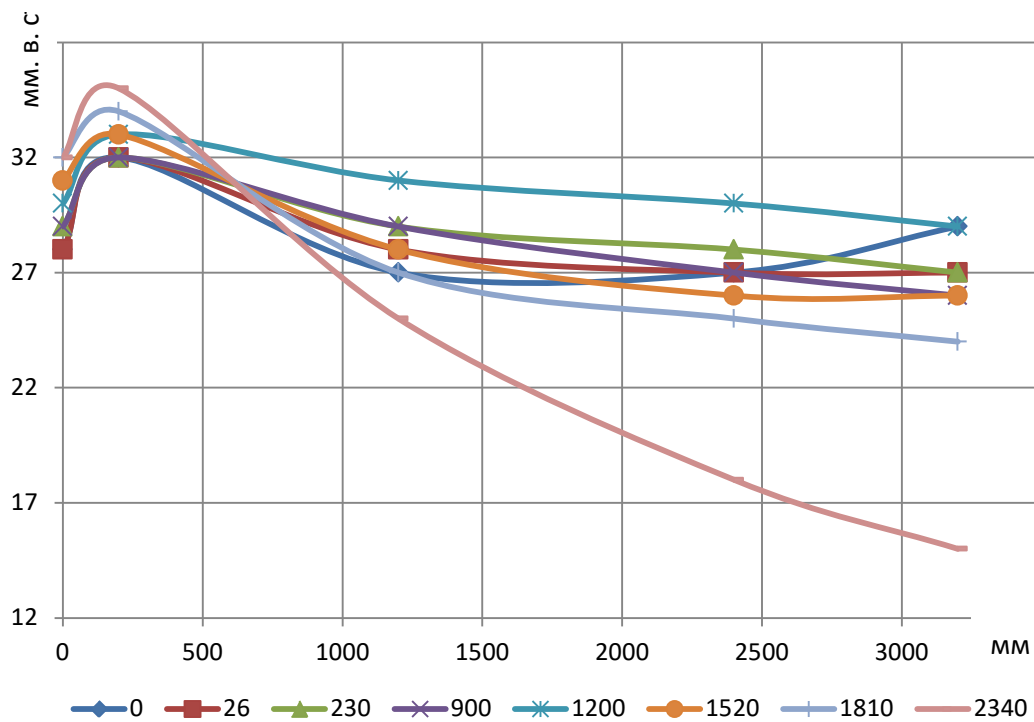


Рис. 3.16. Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування вівса.

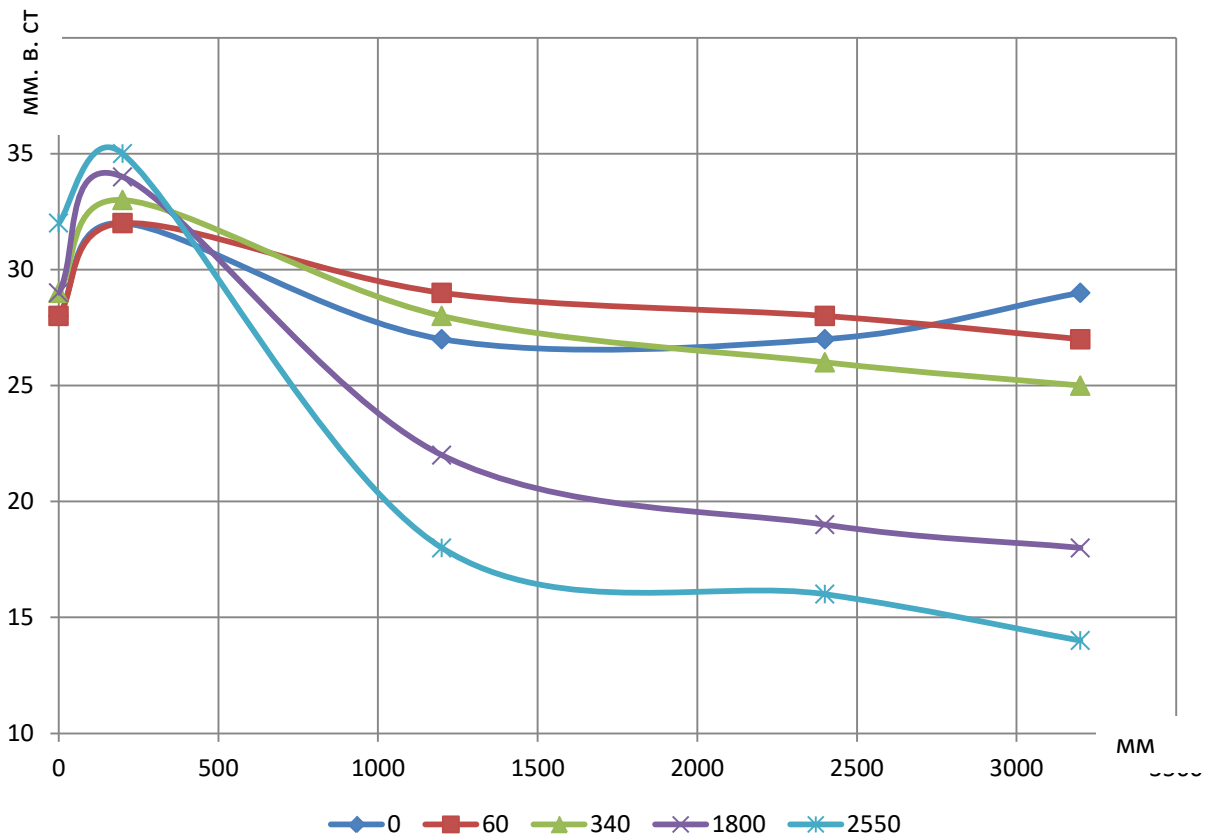


Рис. 3.17. Криві зміни тиску по довжині трубопроводу ($p = f(\delta)$) під час транспортування льону.

Аналізуючи дані табл. 3.3. 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.

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

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

3.6. Висновки до розділу

1. 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 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.

4. Охорона праці та безпека життєдіяльності

4.1 Аналіз можливих чинників та аварійних ситуацій

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

Поміж різних небезпечних чинників, котрі можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі та 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 та профілактики травматизму дозволяє виявити причини та визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики виробничого травматизму.

4.2. Умови та 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, 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 та закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються.

Таблиці 4.1.

Аналіз процесів формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Транспортування зерна	НУ ₁ - порушення ізоляцій. НУ ₂ - відсутність заземлення.	НД- Поява струму на корпусі транспортера	НС- Контакт працівника з струму ведучими частинами транспортера	Т- Уражен- ня струмом	Заземлення струмо- ведучих частин та якісна їх ізоляція
НУ ₁ → НУ ₂ → НД→ НС→ Т					
Транспортування 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					
Транспортування зерна	НУ-не щільність транспортної системи	НД- розсипання транспортова- ного матеріалу	НС-падіння працівника	Т-травми.	Забезпечення герметик- ності транспортера
НУ → НД→ НС→ Т					

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, котрі між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. Статистично залежні події - це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо жодна 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.

4.3. Моделювання процесів формування та виникнення виробничих небезпек під час транспортування зерна пневмотранспортером

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов та помилок працівників 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 травмонезбезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес та до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію, що є причиною травмонезбезпечних та аварійних ситуацій. Розглянемо випадок виробничого травматизму під час транспортування зерна. У даному випадку відбувається травма працівника, внаслідок порушення ізоляцій або відсутність заземлення. Головну подію розміщують у верхній частині аркуша паперу та 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 та 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 та 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

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0.3 + 0.2 - 0.3 \cdot 0.2 = 0.44 \quad (4.1)$$

Ймовірність подій P_6

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0.3 + 0.2 - 0.3 \cdot 0.2 = 0.44 \quad (4.2)$$

Ймовірність подій P_7

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0.44 + 0.44 - 0.44 \cdot 0.44 = 0.69 \quad (4.3)$$

Ймовірність подій P_9

$$P_9 = P_8 \cdot P_7 = 0.4 \cdot 0.69 = 0.28 \quad (4.4)$$

Ймовірність подій P_{12}

$$P_{12} = P_{10} + P_{11} - P_{10} \cdot P_{11} = 0.2 + 0.3 - 0.2 \cdot 0.3 = 0.44 \quad (4.5)$$

Ймовірність подій P_{15}

$$P_{15} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0.3 + 0.05 - 0.3 \cdot 0.05 = 0.335 \quad (4.6)$$

Ймовірність подій P_{16}

$$P_{16} = P_2 \cdot P_{15} = 0.2 \cdot 0.335 = 0.067 \quad (4.7)$$

Ймовірність подій P_{18}

$$P_{18} = P_{17} \cdot P_{16} = 0.5 \cdot 0.067 = 0.034 \quad (4.8)$$

Ймовірність подій P_{19}

$$P_{19} = P_9 \cdot P_{18} = 0.28 \cdot 0.034 = 0.0095 \quad (4.9)$$

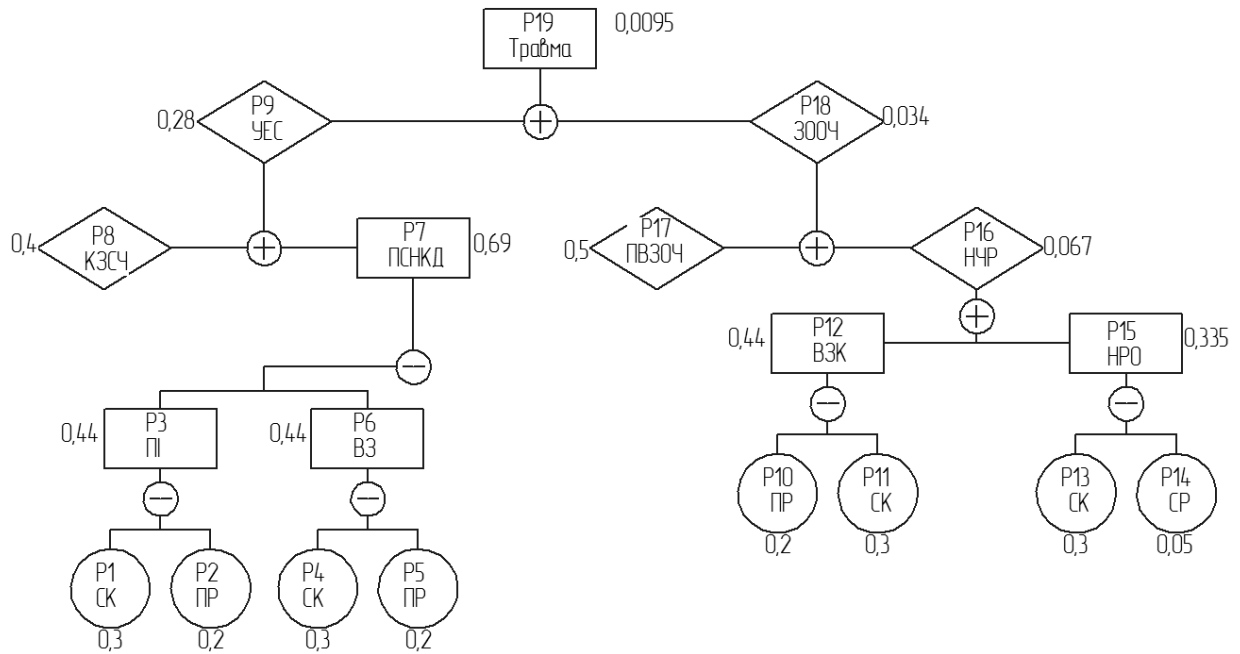


Рис. 4.1. Модель процесу формування та виникнення аварій та травм.

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;

300Ч – захоплення одягу обертовими частинами; ПСНКТ – поява струму на

корпусі транспортера; КЗСЧ – контакт з струмоведучими частинами;

УЕС – ураження електричним струмом.

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 та небезпечних діях на 100 транспортерів ймовірність виникнення травмонезбезпечної ситуації становить 0,95.

4.4. Розробка заходів по запобіганню аварій та травм в процесі транспортування зерна

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

До роботи машиністом допускаються особи, котрі 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, мають та кваліфікаційну групу допуску з електробезпеки.

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 та нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або людей, котрі його оточують, та навколишньому природному середовищу, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу;
- утримувати в порядку та чистоті своє робоче місце;
- дотримувати встановленого протипожежного режиму;
- не користуватися відкритим вогнем.
- вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних

випадках;

- знати та виконувати вимоги даної інструкції, правила виробничої санітарії, правила поводження з машинами, устаткуванням та іншими засобами виробництва;

- не знаходитися на території в нетверезому стані, не вживати спиртні напої та наркотичні речовини;

- курити та приймати їжу тільки в спеціально відведених місцях (вказати конкретно);

Небезпечними виробничими чинниками на робочому місці оператора можуть бути:

- Деталі устаткування, що рухаються та обертаються: з'єднувальні муфти електроприводів та робочих органів устаткування, шківни, кінці валів, що виступають та інші деталі, що обертаються, де можливі захоплення та 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/м³) яке може викликати алергічну реакцію або захворювання пневмоконіозами.

- Підвищений рівень шуму (ГДР- 80 дБА), що негативно впливає на нервову та 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 та шкідливих виробничих чинників передбачено:

- Огородження всіх частин та деталей машин, котрі обертаються, та пасових передач, інших небезпечних зон, знімати та 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, та застосовується спеціальне взуття.

Правила особистої гігієни:

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

- приймайте їжу тільки у спеціально влаштованих для цього місцях.

- при відвідуванні туалету залишайте санодряг у тамбурі, при виході

- вимийте руки водою, ополосніть дезінфікуючим розчином та водою.

При одержанні травми треба негайно звернутися в медпункт та повідомити свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу про нещасний випадок, що трапився, та 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 та здавання зміни при безперервній роботі провадиться за 15 хвилин до початку зміни.

Пристаюючи до роботи необхідно:

Надіти спецодяг та привести його в порядок, волосся сховати під головний убір.

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

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

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

Перевірити наявність та справність первинних засобів пожежогасіння.

При виявленні несправностей та 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 та виникненню травмонебезпечних ситуацій, треба дотримуватися таких вимог:

- не залишайте працююче устаткування без нагляду та 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 та не ремонтуйте електроустаткування, не наступайте на електропроводи;
- не включати устаткування при обірваних або видимих пошкодженнях захисного заземлення (занулення);
- не виконуйте роботи, котрі не входять у ваші обов'язки;

- будьте уважними до сигналів внутрішньо цехового транспорту.

При необхідності видалення сировини з трубопроводу, зупиніть привід, повісьте на пускач табличку "Не вмикати! Працюють люди !" та 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 та прибиранням устаткування необхідно:

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

Використовувати для очищення тільки спеціальні шкребки, щітки та мітли.

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

По закінченні очищення та прибирання установіть всі огороження, інструмент та 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 та 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 та повідомте свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

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

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

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

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

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

В усіх випадках виконувати вказівки свого безпосереднього керівника.

4.5. Висновки до розділу

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

5. Економічна ефективність впровадження зернового пневмотранспортера

5.1. Технічна характеристика порівнюваних машин

З метою обґрунтування економічної ефективності використання пневмотранспорту виконаємо порівняння двох типів транспортерів-перевантажувачів, а саме пневматичного Т-207/2 та шнекового НЗШ-5.

Пневматичний транспортер Т-207/2 призначені для транспортування зерна, кукурудзи, бобових та олійного насіння в горизонтальному та вертикальному напрямках. Транспортер використовуються при перевантаженні зерна з транспортних засобів в сховища та назад та для вентилявання зерна під час його зберігання та складування.

Зернозавантажувач НЗШ-5 призначений для транспортування, завантаження та вивантаження зернових, бобових та олійних культур, а також будівельних та інших сипких матеріалів, в тому числі в залізничні вагони та автотранспорт з високими бортами.

Технічні характеристики даних транспортерів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Технічна характеристика транспортерів

№	Характеристика	НЗШ-5	Т-207/2
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	5	10
6	Висота завантаження, м	3	3
7	Ціна, грн	32000	27000

За даними табл. 5.1. пневматичний сепаратор переважає шнековий за продуктивністю, ціною та відстанню транспортування.

5.2. Методика розрахунку показників економічної ефективності

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

$$Z_3 = \Pi + K, \quad (5.1)$$

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

Прямі експлуатаційні затрати дорівнюють:

$$\Pi = Z + \Gamma + P + A + Z_3, \quad (5.2)$$

У праву частину рівняння входять затрати відповідно на:

Z - оплату праці обслуговуючого персоналу;

E - електроенергію;

P - технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт;

A - реновацію;

Z_3 - зберігання.

Затрати на оплату праці тракториста становлять:

$$Z = \frac{L_6 \tau_6 k_d}{W_{зм}}, \quad (5.3)$$

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

L_6 - чисельність виробничого персоналу, чел;

τ_6 - годинна тарифна ставка оплати праці виробничого персоналу, грн/люд.год;

k_d - коефіцієнт, що враховує доплати за класність та стаж роботи, кваліфікацію.

Затрати на електроенергію

$$\Gamma = qЦ, \quad (5.4)$$

де q - витрата електроенергії, кг/т;

$Ц$ - комплексна ціна 1 кВт·год. електроенергії.

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

$$P = \frac{B(r_m + r_k)}{W_{зм} T_p}, \quad (5.5)$$

де B – балансова вартість сепаратора, грн;

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

T_p – річне завантаження транспортера.

$$T_p = D t, \quad (5.6)$$

де D – число днів роботи сепаратора за сезон;

t – експлуатаційний час.

Затрати на реновацію

$$A = \frac{B a}{W_{зм} T_p}, \quad (5.7)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на реновацію.

Затрати на зберігання

$$Z_3 = \frac{Z_{зб}}{W_{зм}}, \quad (5.8)$$

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

Капітальні вкладення K на тону становлять:

$$K = \frac{B}{W_{зм} T_p}. \quad (5.9)$$

Затрати праці Z_n (люд.-год/т)

$$Z_n = \frac{L_e}{W_{зм}}. \quad (5.10)$$

Річне напрацювання сепаратора

$$B_3 = W_{зм} T_p. \quad (5.11)$$

Річний економічний ефект від експлуатації транспортера

$$E_p = (\Pi_1 - \Pi_2) B_3, \quad (5.12)$$

де Π_1, Π_2 – зведені затрати для обох транспортерів, грн/ум.ет.га.

Річна економія праці Z_p (люд.-год):

$$Z_p = (Z_{nб} - Z_{m}) B_3, \quad (5.13)$$

де Z_{n1}, Z_{n2} - затрати праці для обох транспортерів, люд.-год/од. напр.

Ступінь зміни затрат C становить:

$$C = \frac{(Z'_{p1} - Z'_{p2}) \cdot 100}{Z'_{p1}}, \quad (5.14)$$

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

5.3. Порівняльний аналіз транспортерів

На основі експлуатаційних показників роботи транспортерів, нормативно-довідкових матеріалів, цін на технічні засоби та електроенергію заповнюється таблиця вихідних даних (табл. 5.2), де враховані тільки показники, що впливають на економічну ефективність.

Таблиця 5.2.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності транспортера

Показник	Транспортер	
	НЗШ-5	Т-207/2
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 та технічне обслуговування	0,08	0,08
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	0,05	0,05

Показник	Транспортер	
	НЗШ-5	Т-207/2
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 5.3.

Таблиця 5.3.

Показники економічної ефективності зернового пневмотранспортера

Показник	Транспортер	
	НЗШ-5	НЗШ-5
Річне напрацювання, т	4000	5700
Прямі затрати (грн/т) на:		
- оплату праці	0,96	0,81
- електроенергії	9	9,9
- технічне обслуговування, поточний та 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

Показник	Транспортер	
	НЗШ-5	НЗШ-5
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

5.4. Висновки до 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.

Загальні висновки

1. Пневматичний транспорт знайшов широке застосування в умовах зернопереробних підприємств. Однак для його кращого використання необхідно обґрунтовувати параметри пневмотранспортних установок для конкретних умов виробництва.

2. Теоретичний аналіз пневмотранспортерних установок нагнітальної дії дозволив визначити основні фактори, котрі впливають на їх роботу, а саме: тиск повітряного потоку, швидкість його руху, об'ємна концентрація суміші в пневматичному трубопроводі та фізико-механічні властивості матеріалів.

3. 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 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.

5. Результати визначення показників економічної ефективності використання пневмотранспортної установки свідчать про доцільність її використання. Зокрема, прямі затрати є менші на 0,255 грн/т, а зведені – на 3,98 грн/т. в порівнянні з шнековими транспортерами-завантажувачами. Затрати праці при цьому зменшились на 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 /Ю.П. Адлер - М: Наука, 1976.-279 с.
2. Александров А.Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: Справочник/А.Н. Александров, Г.Ф Козориз – М.: Лесн. Пром-сть, 1988. – 248 с.
3. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск та швидкість руху матеріальної точки. / Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. / 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.Ф. Бурмистрова и др. - М.:ГИСЛ. – 1956. – с.346.
5. Валге А. М. Обработка данных в Excel на примерах/А. М. Валге. – СПб.: ГНУСЗНИИМЭСХРоссельхозакадемии, 2010. – 104 с.
6. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных/Г. В. Веденяпин. – М. : Наука, 1973. – 451 с.
7. Визначення характеристик відцентрового вентилятора. Інструкція до лабораторної роботи №10 з курсу “Процеси та 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/Е.И. Гавриков. - Минск.: Высшая школа, 1972. - 92 с.
9. Гнеушев В.О. Вентиляція і пневматичний транспорт. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. –138 с.
10. Довідник з охорони праці в сільському господарстві (запитання та відповіді)/С.Д. Лехман, В.П. Целинський, С.М.Козирев та ін.; За ред.. С.Д.Лехмана.- К.: Урожай, 1990.-400 с.

11. Додонов Б.П. Грузоподъемные и транспортные устройства: Учебник для средних специальных заведений/Додонов Б.П., Лифанов В.А. - М: Машиностроение. 1990. – 248 с.
12. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна/Г.А. Егоров – Агропромиздат, 1985. – 334 с.
13. Зарницына Э.Г. Вентиляционные установки и пневмотранспорт: учебное пособие/Э.Г. Зарницына, О.Н. Терехова. – 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/В.С. Кузнецов, С.В. Денисов – Братск: БрГУ, 2007. - 67 с.
15. Лебедев В.Б. Промышленная обработка и хранение семян // Учебное пособие для вузов. - М.: Агропромиздат, 1991. - 16с.
16. Любін М.В. Особливості роботи крутопохилених гвинтових транспортерів при переміщенні зернової продукції. М.В. Любін, О.А. Токарчук, В.М. Яропуд / Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /– Вінниця, 2016. – №3 (95) – С. 235-240.
17. Любін М. В. Розрахунки підймальних механізмів та машин: / М.В. Любін, О. А. Токарчук, М. П. Єленіч. - 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. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин/Ф.П. Марон, А.В. Кузьмин - Минск, 1977. - 271с.
20. Малис А.Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. – А.Я. Малис, М.Г. Касторных. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.
21. Механізація транспортуючих робіт: [навч. посіб.]. Ч. II : Транспортуючі машини без тягового органу / М. В. Любін. - Вінниця: ВНАУ, 2010. - 230 с.

22. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт/Уклад.: С.П. Шевчук, А.В. Ворфоломеев. - К.: НТУУ «КПІ», 2013. - 107 с.

23. Омелянов О.М. Особливості використання механічних коливань в технологічних процесах / О.М. Омелянов // Вібрації в техніці та технологіях. – 2017. – №4(87) – С. 129-134.

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

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

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

27. 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.

28. 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

29. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підйимальних та транспортуючих машин: Підручник/В.С. Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колісник та ін. – К.: Вища шк., 2009. – 734 с.

30. Пневмотранспортное оборудование: Справочник/М.П. Калинушкин, В.С. Серяков, М.М. Шапунов, Под общ. Ред. М.П. Калинушкина. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 286 с.

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

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

33. 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.,

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

35. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 116 с.

36. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солона, І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.

37. Солона О.В. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.

38. Солона О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів та машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. – Вінниця, 2019. – 254 с.

39. Солона О.В.. Теорія механізмів та машин. Лабораторний практикум. Навчальний посібник / О.В. Солона, В.С. Любин – Вінниця: ПП Балюк І.Б., 2014. – 138 с.

40. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. – 340 с.

41. Тураев Н.С.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 28 с.
42. Скалецька Л. Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: Практикум./Л. Ф. Скалецька, Т.М. Духовська, А. М. Сеньков - К.: Вища шк., 1994.
43. Соколов Е.Я. Струйные аппараты/Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
44. Таубер Е.А., Калитиевский Р.Е., Громцев Е.К. Внутриводской транспорт/Е.А. Таубер, Р.Е. Калитиевский, Е.К. Громцев – М.: Леснаяпром-сть, 1978. – 239 с.
45. Хайліс Г.А. Основи проектування та дослідження сільськогосподарських машин: Навч. Посібник/Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
46. Холоменюк М.В. Насосні та вентиляторні установки: навч. посіб./М.В. Холоменюк./Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т, 2004. - 330 с.
47. Шевчук С.П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підруч./С.П. Шевчук, О.М. Попович, В.М. Світлицький. - К.: НТУУ «КПІ», 2010. - 308 с.