

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення конструктивних параметрів конвеєра
для транспортування сільськогосподарської продукції»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Кузьменко Євгеній Сергійович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Попов С.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Шейченко В.О.
Прізвище та ініціали рецензента

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	5
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Класифікація пневмотранспортних установок	9
1.2 Конструктивно-технологічні схеми пневмотранспортних установок	12
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМОГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА	21
2.1 Конструктивно-технологічна схема пневмогвинтового конвеєра	21
2.2 Основні параметри пневмогвинтового конвеєра	23
2.3. Кінематика гвинтового конвеєра	24
2.4 Кінематика пневмотранспортера	27
2.5 Дослідження динамічних течій в'язкого газу в каналі гвинтового конвеєра	30
3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРУ	33
3.1 Методика дослідження фізико-механічних властивостей зерна пшениці, соняшнику, проса	33
3.2 Опис експериментальної установки	36
3.3 Порядок проведення досліджень	40
3.4 Методика планування лабораторних експериментів	41
3.5 Програма та методика виробничих випробувань пневмогвинтового конвеєра	45

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Виконав	Кузьменко Є.				Кваліфікаційна робота			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Попов С.В.							н	5	77
Керівник	Попов С.В.							ПДАУ, 2022 р.		
Н. контр.	Попов С.В.									
Затверд.	Попов С.В.									

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТІВ	46
4.1. Фізико-механічні властивості вантажів	46
4.2 Результати досліджень впливу режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки	48
4.3 Вплив режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки під час роботи із зерном пшениці	48
4.4 Продуктивність пневмогвинтового конвеєра під час транспортування зерна пшениці	54
4.5 Вплив режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки при роботі із зерном соняшника	56
4.6 Продуктивність пневмогвинтового конвеєра при транспортуванні соняшника	61
4.7 Результати вимірювань потужності пневмогвинтового конвеєра	63
4.8 Результати виробничих випробувань	64
5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	66
5.1 Охорона праці	66
5.1.1 Вимоги безпеки під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт із зерном та іншими сипучими продуктами	67
5.2 Екологічна експертиза	67
5.2 Економічна ефективність	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИПРОСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	77

ВСТУП

Актуальність теми. Транспортування є необхідним процесом під час виробництва продукції рослинництва і може становити до 40% загальної трудомісткості робіт. Більшість цих робіт виконують конвеєри, при цьому особливе місце займає вертикальне транспортування зерна на елеваторах, складах, а також на зернопереробних підприємствах [1].

В даний час в умовах зменшення кількості великих сільськогосподарських підприємств і появи невеликих фермерських господарств, знизилася ефективність застосування транспортерів, що серійно випускаються – норій і шнеків, розрахованих на велику продуктивність. Крім того, деякі з них травмують зерно та призводять до збільшення запиленості. Тому необхідно обґрунтувати конструктивно-технологічні схеми та параметри транспортерів для вертикального переміщення з необхідною продуктивністю [1] та відповідають вимогам щодо допустимого травмування.

Особливістю сипучого матеріалу (зерна), при вертикальному транспортуванні, є міжзернове тертя та тертя зерна з робочими елементами конвеєра [1], що зумовлює значний опір переміщенню. Конструкція та параметри вертикального конвеєра повинні гранично відповідати фізико-механічним властивостям зерна. Для виконання цієї умови необхідно вдосконалювати існуючі та розробляти нові транспортери, що дозволяють з необхідною продуктивністю та найменшими ресурсними витратами проводити вертикальне транспортування зерна без втрати якісних показників.

Отже, завдання розробки та впровадження у виробничий процес вертикальних транспортерів нового типу, що дозволяють зберігати якісні показники за високої продуктивності, є актуальним.

Мета дослідження. Метою цієї роботи є підвищення ефективності вертикального транспортування зерна шляхом обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмогвинтового конвеєра.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт дослідження. Конструктивно-технологічну схему пневмогвинтового конвеєра для вертикального транспортування зернових матеріалів, що дозволяє підвищити продуктивність і зменшити травмованість зерна за рахунок суміщення процесів транспортування шнеком.

Предмет дослідження. Дослідження робочого процесу вертикального пневмогвинтового конвеєра.

Мета дослідження. Підвищення ефективності вертикального транспортування зерна шляхом обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмогвинтового конвеєра.

Практична значущість:

- теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічної схеми пневмогвинтового конвеєра;
- математичні та ймовірісно-статистичні моделі, що описують вплив основних конструктивних і режимних параметрів на продуктивність пневмогвинтового конвеєра;
- результати теоретичної та експериментальної оптимізації конструктивних та режимних параметрів.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Класифікація пневмотранспортних установок

У сучасному сільському господарстві пневмотранспортні установки знаходять дедалі більше застосування, що свідчить про їх затребуваність. Для виробництва установок такого типу необхідно виділити їх основні критерії.

За способом впливу повітря на транспортований матеріал пневмотранспортні установки поділяють на установки, в яких повітряний потік впливає безпосередньо на кожен частину матеріалу, що переміщується (під дією аеродинамічних сил) і установки, в яких повітря використовується тільки для зниження коефіцієнта внутрішнього тертя транспортованого матеріалу (аерація), а переміщення частинок здійснюється за рахунок власної ваги (гравітаційних сил) [1, 2].

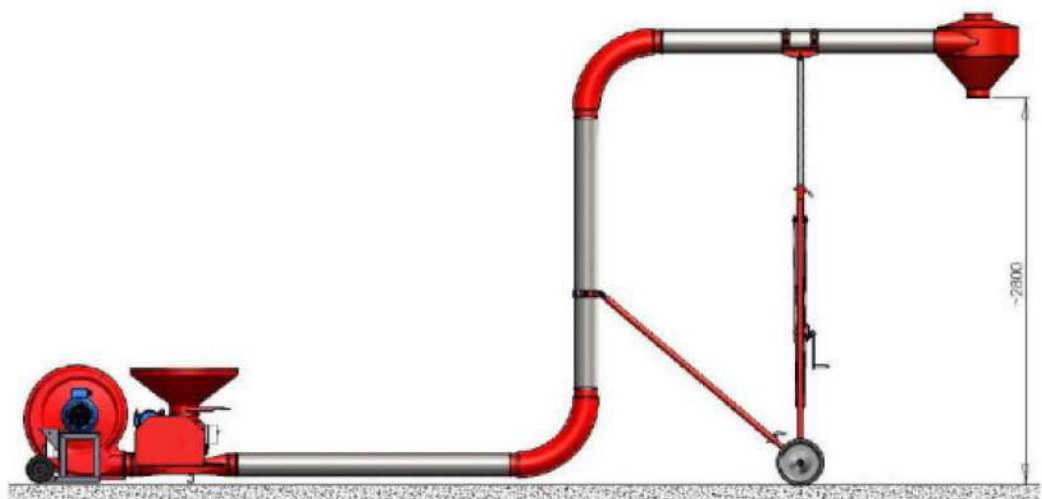


Рисунок 1.1 – Пневмотранспортер з нагнітальною системою подачі

Залежно від способу створення повітряного потоку [1] та умов руху його в трубопроводі разом з матеріалом, розрізняють такі основні системи пневмотранспортних установок: всмоктувальні, що працюють при розрядженні, нагнітальні, що працюють при тиску, і комбіновані, що поєднують перші дві установки (рисунок 1.2).

У встановленні всмоктувальної дії [1, 2] рух повітряного потоку здійснюється за рахунок перепаду тиску, створюваного повітродувною машиною. Найчастіше установки такого типу застосовують для переміщення матеріалу на невеликі відстані. Основною перевагою всмоктуючої пневмотранспортної установки є можливість транспортування сипких матеріалів з декількох точок в одну.

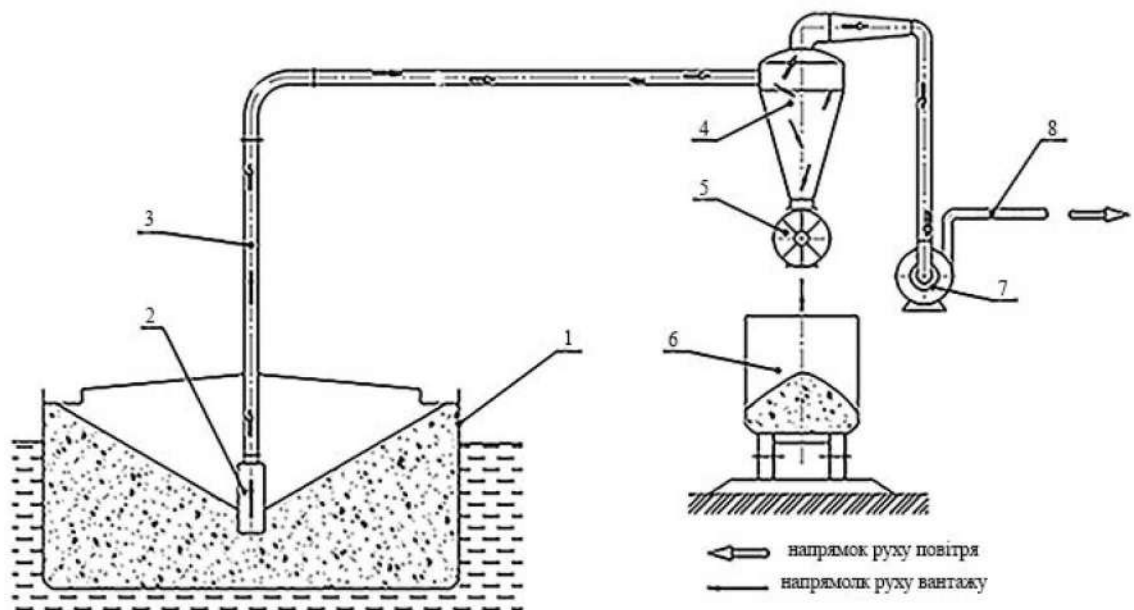
Пневмотранспортні установки нагнітальної дії поділяються на установки, в яких матеріал, що транспортується, переміщається в потоці стисненого повітря (за принципом ежекції) по трубопроводах з прямолінійною і довільною конфігураціями [64, 65, 73]. Перевагою нагнітальних пневмотранспортних установок є можливість переміщати сипучі матеріали по розгалуженій системі трубопроводів

Установки всмоктувально-нагнітальної дії [3, 4] як повітродувні машини застосовують вентилятори високого тиску, трубо-повітродувку, або вакуум-насос-компресор.



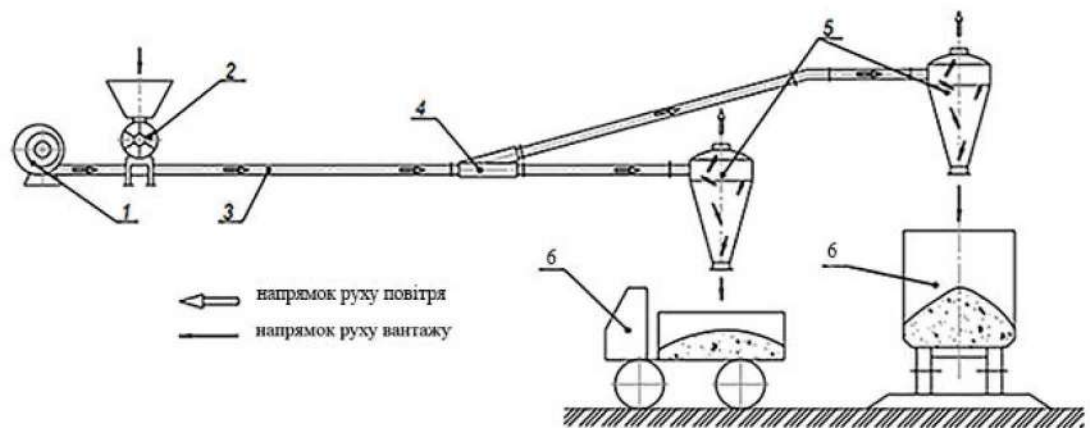
Рисунок 1.2 – Пневмотранспортер з всмоктувально-нагнітальною системою подачі

Такі установки поєднують у собі переваги вищерозглянутих установок. Найефективнішими є установки, у яких створення перепаду тиску, як у всмоктувальної, і на гнітючої гілці використовується одна повітряна машина [4].



1 – ємність з матеріалом; 2 – сопло; 3 – трубопровід; 4 – циклон; 5 – затвор; 6 – транспортний засіб; 7 – нагнітач повітря; 8 – повіторопровід

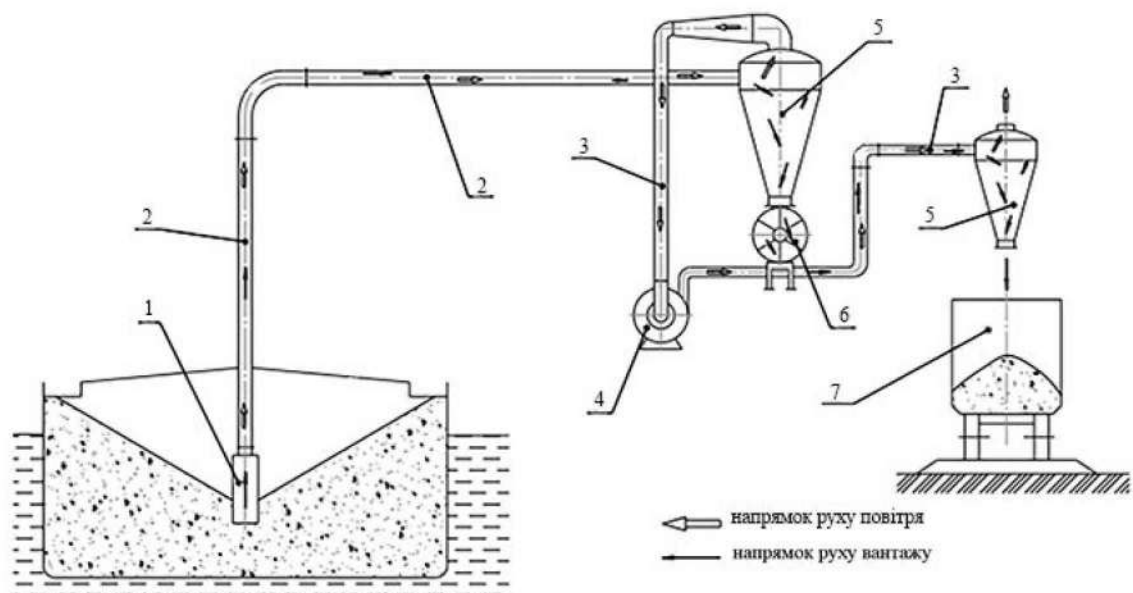
Рисунок 1.3 – Технологічна схема розвантажування сировини з використанням пневмоустановки всмоктувального типу



1 – нагнітач повітря; 2 –затвор; 3 – трубопровід; 4 – розгалужувач; 5 – циклон; 6 – транспортний засіб

Рисунок 1.4 – Технологічна схема завантаження транспорту за допомогою пневмоустановки нагнітаючої дії

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



1 – сопло; 2 – трубопровід; 3 – повітропровід; 4 – нагнітач повітря; 5 – циклон; 6 – затвор; 7 – транспортний засіб

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

Установки, що працюють за принципом аерації матеріалу [5, 6], поділяють на установки та установки для вивантаження матеріалу з ємностей. Аерація відбувається за рахунок подачі повітря через мікропористу перегородку в матеріал, що транспортується, приводячи його в стан плинності. Псевдозріджений матеріал рухається в аерозолобі по пористій перегородці під дією сили тяжіння при невеликих ухилах (4...5%).

1.2 Конструктивно-технологічні схеми пневмотранспортних установок

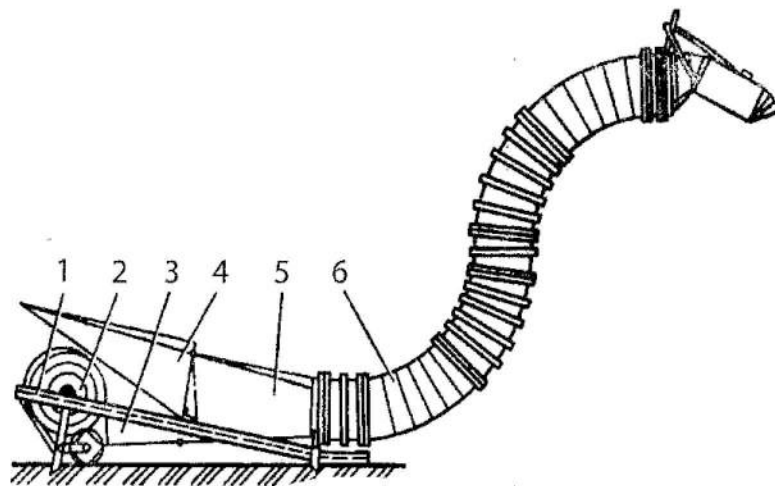
Пневматична транспортна установка – комплекс обладнання, призначеного для переміщення сипких або штучних вантажів за допомогою стисненого чи розрідженого газу.

Пневматичний транспортер використовується як самостійний механізм [5] або у вигляді вбудованого транспортуючого пристрою в сільськогосподарських машинах (комбайнах, зерноочисних машинах, сепараторах [5] тощо). Для

пневматичних транспортерів сільськогосподарського призначення рекомендується швидкість від 10 до 45 м/с.

У різні роки розроблялися та серійно випускалися такі види пневмотранспортних установок.

Транспортер пневматичний ежекторний ТПЕ-10А [5, 7] (рисунок 1.14), агрегатується з трактором. Простий в управлінні, призначений для транспортування сіна та соломи, сухого підстилкового торфу та інших легковагих сипучих матеріалів. Складається з рами (1) з ходовими колесами, на якій кріпляться вентилятор (2) з конфузоров (3), бункер завантаження (4) з проміжною камерою (5), що переходить в трубопровід (6).



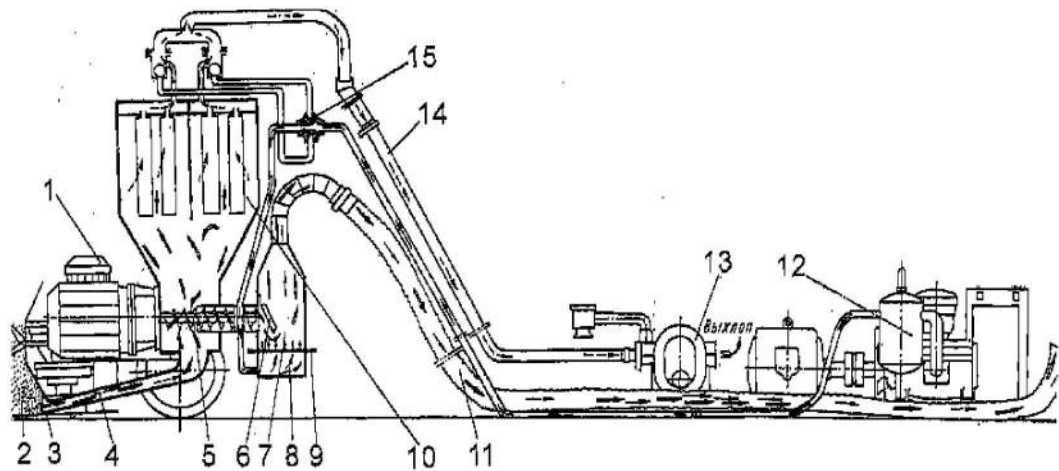
1 – рама; 2 – вентилятор; 3 - конфузор; 4 – завантажувальний бункер; 5 – проміжна камера; 6 – транспортний трубопровід

Рисунок 1.14 - Пневматичний транспортер ТПЕ-10А

У разі підвищеного тиску в приймальній камері, що виникає в результаті зупинки транспортера, клапан закривається і відсікає подачу матеріалу, що транспортується, за допомогою чого вдається ліквідувати завал у трубопроводі.

Пневматичний розвантажувач всмоктувально-нагнітальної дії С-960 (рисунок 1.15) [5, 7] призначений для транспортування пилоподібних вантажів. Він передає матеріал, що транспортується, на порівняно невеликі відстані (у межах 12...16 м), при висоті подачі не більше 1,5...2,0 м, тому часто працює в комплекті з іншими транспортними механізмами (елеваторами, транспортними шнеками,

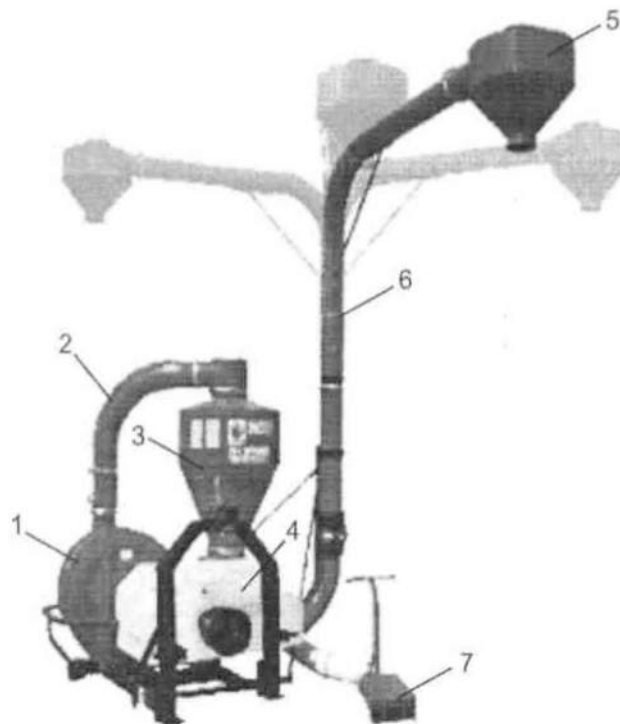
гвинтовими пневмопідійомниками та аерозолобами тощо), що здійснюють подальше транспортування вантажу в складські ємності, вивантаженого розвантажувачем із залізничного вагона.



1 – самохідний забірний пристрій; 2 – матеріал, що транспортується; 3 – диски, що підгортають; 4 – сопло; 5 – камера напірного шнека; 6 – клапан; 7 – змішувальна камера; 8 – аероднище; 9 - мікропориста перегородка; 10 – камера фільтрів; 11 – цементопровід; 12 – компресор; 13 – повітродувка; 14 – гнучкий повітропровід; 15 – кран.

Рисунок 1.15 – Пневматичний розвантажувач всмоктувальної-нагнітальної дії С-960

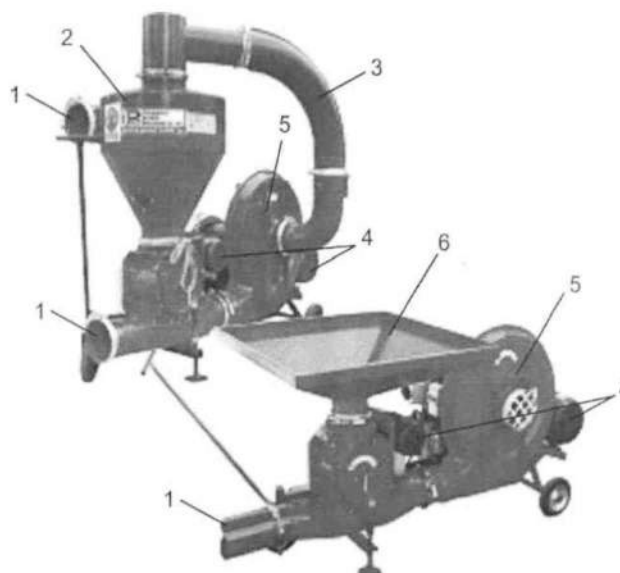
Пневмотранспортери марки Т-449 (рисунок 1.16) призначені для транспортування зерна на відстань до 70 метрів або заввишки до 12 метрів [8]. Існують дві модифікації транспортерів, це – навісний Т-449 та причіпний Т-449/1. Всмоктують і нагнітальні транспортери складаються з гнучкого патрубку, що всмоктує, циклону для самозавантаження транспортера і нагнітального патрубку (жорсткого). Привід вентилятора здійснюється від валу відбору потужності трактора класу 0,9 та вище. Транспортери обладнані живильником з гумовими лопатями, що забезпечують рівномірну подачу матеріалу та герметичність нагнітального пневмопроводу. Ці транспортери відрізняються високою надійністю, тривалим терміном експлуатації, можливістю автономної роботи далеко від ліній електропередач, прийнятною ціною і можуть знайти застосування як транспортне обладнання в різних технологічних ланцюгах.



1 – вентилятор, 2 – трубопровід, 3 – циклон, 4 – приводна станція, 5 – пневморозвантажувальна камера, 6 – розвантажувальний трубопровід, 7 – сопло

Рисунок 1.16 – Пневмотранспортери марки Т-449

Пневмотранспортери марки Т-207 (рисунок 1.17) призначені для транспортування зерна на відстань до 50 м-код або у висоту до 12 м-код [66].



1 – розвантажувальний патрубок; 2 – циклон; 3 – трубопровід; 4 – електродвигун; 5 – вентилятор; 6 – завантажувальний пристрій

Рисунок 1.17 – Пневмотранспортер марки Т-207/2Т та Т-207/1Т

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Існує дві модифікації транспортерів всмоктувально-нагнітальної дії (Т-207/2 і Т-207/1) і просто нагнітальної дії (Т-207/2Т і Т-207/1Т). Транспортери обладнані живильником з гумовими лопатями, що забезпечують нульовий зазор між стінками. Нагнітальний транс-портер відрізняється лише тим, що його завантаження здійснюється шляхом подачі матеріалу будь-яким способом (з бункера, з лотків, шляхом ручного завантаження і т.п.) в приймальну чашу. Позитивним моментом цієї конструкції є зменшення втрати повітряного потоку і, як наслідок, більш висока продуктивність.

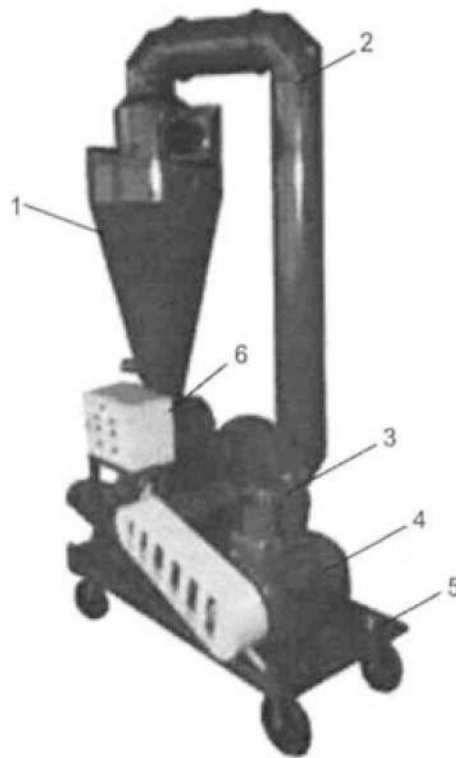
Ці транспортери відрізняються високою надійністю, тривалим терміном експлуатації та можуть знайти застосування як транспортне обладнання у різних технологічних ланцюгах.

Пневматичні транспортери (пнеумоперевантажувачі) сипучих матеріалів серії ТПВН, ТПН [5, 7] (рис. 1.18). Це обладнання відрізняється простотою та надійністю конструкції, низькою споживаною потужністю. Додатково пневмотраспортери можуть бути оснащені обладнанням: гнучкими або жорсткими матеріалами, підйомно-поворотними стрілами. Для переміщення рейками транспортер може встановлюватися на рамі з електроприводом переміщення.

Всмоктуючий-напірні пневматичні перевантажувачі ТПВН-10, ТПВН-20, ТПВН-40 використовуються при розвантаженні та завантаженні суден, барж, вагонів, автомашин, зерносховищ, завантаженні зерна з буртів. Пневмотранспортери дозволяють створювати гнучкі та ефективні схеми транспортування.

Напірні установки пневмоподачі матеріалу ТПН-12, ТПН-28, ТПН-45 використовуються для транспортування зерна, що вивантажується з бункера зерносховищ, нижніх люків вагонів-хоперів. Крім того, зерно може подаватися в бункер пневмотранспортера шнековим і стрічковим транспортерами або завантажуватися вручну. З бункера матеріал через шлюзовий затвор надходить у матеріалпровід, де підхоплюється потоком повітря, що нагнітається вентилятором і транспортується до місця вивантаження.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



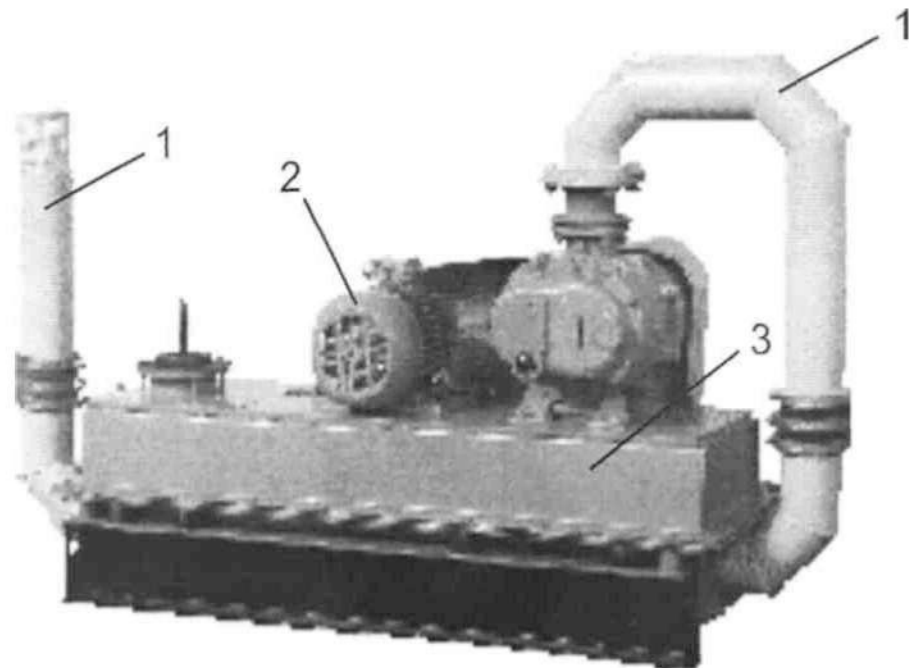
1 – циклон; 2 – трубопровід; 3 – вентилятор; 4 – електродвигун; 5 – рама на колесах; 6 – пульт управління

Рисунок 1.18 – Пневматичний транспортер (пнеумоперевантажувач) сипучих матеріалів серій ТПВН, ТПН

Компресори шестерні серії ЗАФ [10] (рисунок 1.19) призначені для подачі повітря, що не містить крапельної рідини та механічних домішок, в систему пневмотранспорту зерна, продуктів його розмелювання та інших сипучих речовин, а для використання в інших пристроях і системах, де потрібно відносно велика витрата повітря за порівняно низьких тисків. Компресори виготовляються із глушником на рамі. Компресори з глушниками призначені для експлуатації в стаціонарних умовах при температурі навколишнього повітря в межах від -10°C до $+35^{\circ}\text{C}$, компресори на рамі можуть експлуатуватися при температурі навколишнього повітря від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ та застосовуватися у складі автомуковозів та цементовозів. Вони можуть використовуватись на комбінатах хлібопродуктів, млинах, елеваторах; на комбікормових заводах та підприємствах інших галузей, де потрібна велика продуктивність повітря при невисокому тиску

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

для продування фільтрів-циклонів, у вибухонебезпечних приміщеннях з небезпечною концентрацією пилу.

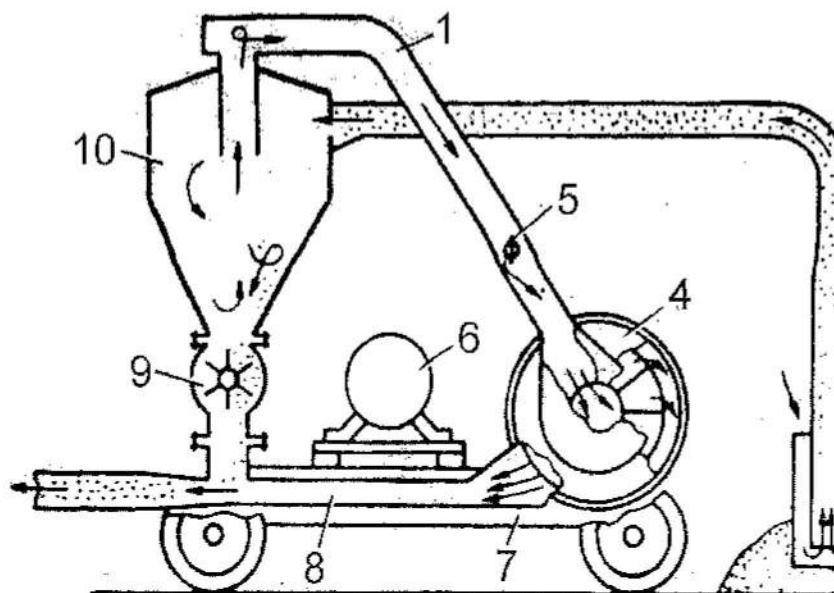


1 – трубопровід; 2 – електродвигун; 3 - компресор

Рисунок 1.19 – Компресори шестерні серії ЗАФ

Пересувний транспортер типу «Нойеро» (Німеччина) [11], (рисунок 1.20), працює як у всмоктувальному, так і в всмоктувально-нагнітальному режимі, що випускається у двох варіантах: з електричним та дизельним приводом. У процесі роботи у розвантажувачі створюється розрідження та атмосферне повітря, проходячи через сопло, захоплює вантаж та подає його у розвантажувач. У закрученому потоці всередині розвантажувача великі частинки відокремлюються від повітря і подаються шлюзовим затвором нагнітальний трубопровід. Пилоподібні частинки разом з повітрям через повітродувну машину також направляються в трубопровід, що нагнітає. Як повітродувна машина в установках типу «Нойеро» використовують вентилятори високого тиску, з'єднані послідовно. До переваг установок такого типу слід віднести наявність регулятора потоку, що забезпечує експлуатацію установки в оптимальному режимі.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



1 – вакуумний патрубок; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – сопло; 4 – повітродувна машина (вентилятор); 5 – регулятор повітряного потоку; 6 – двигун; 7 – двовісний візок; 8 – нагнітальний трубопровід; 9 – шлюзовий затвор; 10 – розвантажувач.

Рисунок 1.20 – Схема пересувної всмоктувально-нагнітальної установки типу «Нойеро»

Пневматичний донний розвантажувач ПДР-101 [11] (рисунок 1.21) використовується для вивантаження пилоподібних добрив із силосів.

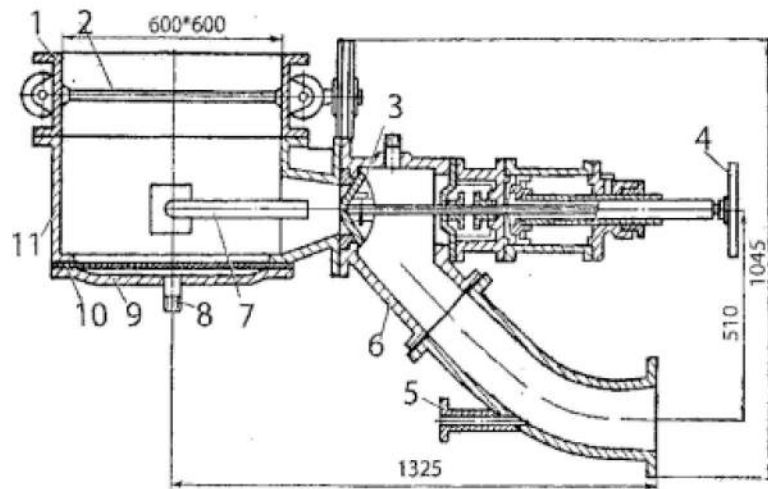
ПДР-101 складається з чавунної коробки (11), в нижній частині якої встановлено аероднище (9) з пористою перегородкою (10), виготовленої зі склотканини. Збоку знаходиться випускний патрубок (6) з конічним клапаном (3), що рухається гвинтовим механізмом зі штурвалом (4) або пневмомеханізмом, пов'язаним зі штоком.

До випускного отвору силосу донний розвантажувач приєднують через приймальну коробку (1) із шиберним затвором (2). При вивантаженні добрив транспортно-технологічні машини до патрубку (6) прикріплюють еластичний рукав.

При завантаженні транспортно-технологічних машин продуктивність розвантажувача сягає 120 т/год. У процесі перекачування продуктивність суттєво

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

змінюється залежно від висоти стовпа пилоподібного добрива, що залишається у силосі.



1 – приймальна коробка; 2 – шиберний затвор; 3 – конічний клапан; 4 – штурвал ручного приводу; 5 – сопло; 6 – розвантажувальний патрубок; 7,8 – повітряні патрубки; 9 – аероднище; 10 – пористі перегородки; 11 – чавунна коробка

Рисунок 1.21 – Пневматичний донний розвантажувач ПДР-101

Пневмотранспорт, який використовується для вертикального транспортування зерна, має такі недоліки; великі габаритні розміри приводних станцій, забивання трубопроводу, великі енерговитрати. Для зменшення даних недоліків пропонується використовувати пневмотранспортну складову як допоміжний елемент руху вантажу, тобто використовувати в поєднанні пневматичні та механічні транспортери.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМОГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

2.1 Конструктивно-технологічна схема пневмогвинтового конвеєра

Вертикальні гвинтові конвеєри, призначені для транспортування зерна, мають ряд недоліків, що виникають у процесі роботи через особливості фізико-механічних властивостей вантажу.

Одним із основних недоліків існуючих гвинтових конвеєрів є зменшення продуктивності зі збільшенням кута нахилу [12]. У вертикальних гвинтових транспортерах продуктивність можна підвищити рахунок збільшення частоти обертання шнека. Це викликає зростання енергоємності, зниження якості матеріалу, що транспортується, причиною чого є підвищення травмованості [13].

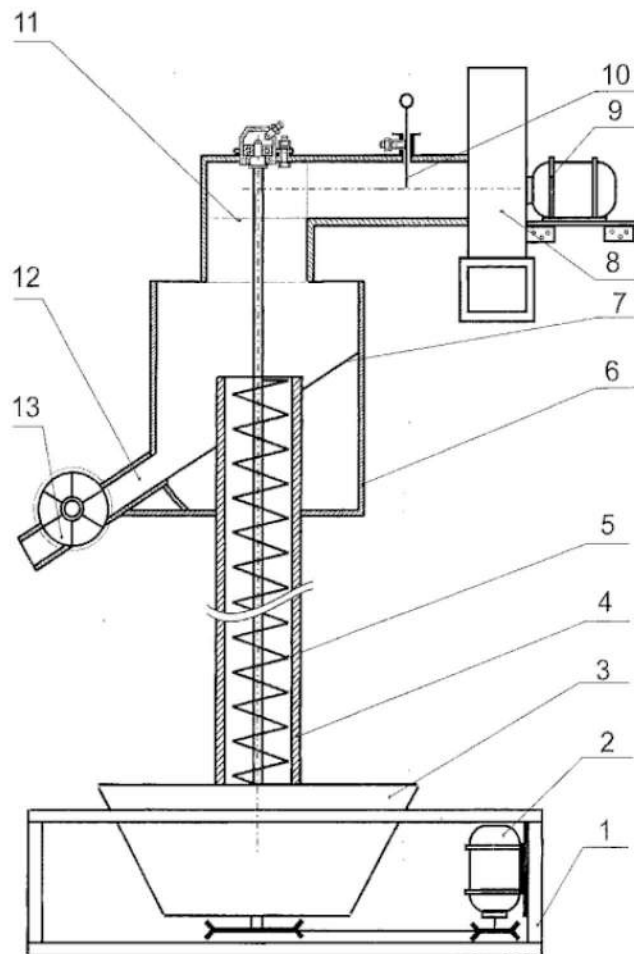
Пневмогвинтовий конвеєр (рисунок 2.1) містить раму (1), привід шнека (2), жорстко закріплений на рамі завантажувальний бункер (3), в якому встановлені кожух (4) і шнек (5), розвантажувальну пневмокамеру (6) зі скатною площиною (7), вентилятор (8) з приводом (9), заслінку (10) у повітроводі (11), вивантажувальний трубопровід (12) із шлюзовим затвором (13).

Пневмокамера установки герметично [14] пов'язана з повітроводом, що веде до пневмосистеми (вентилятора), та кожухом гвинтового конвеєра. Цим досягається поліпшення процесу захоплення зерна шнеком, що швидко обертається, поєднання процесів транспортування гвинтом і потоком повітря. Пневмокамера має всередині похилу площину з кутом, що дорівнює куту нахилу трубопроводу. Вал гвинта проходить по всій довжині установки і закріплюється в підшипнику на стінці повітроводу з протилежної сторони шнеку.

Робочий процес установки протікає в такий спосіб. Перед початком роботи фіксується заслінка (10), що регулює потік повітря в залежності від виду вантажу, що транспортується. Привідна система (2) за допомогою ремінної передачі обертає

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вал шнека (5) із заданою частотою обертання. У той же час друга приводна система (9) задає обертання вентилятора (8).



1 – рама; 2, 9 – приводна система; 3 – завантажувальний бункер; 4 – кожух; 5 – шнек; 6 – розвантажувальна пневмокамера; 7 – скатна площина; 8 – вентилятор; 10 – заслінка; 11 – повітропровід; 12 – трубопровід; 13 – шлюзовий розвантажувач

Рисунок 2.1 – Пневмогвинтова установка

Матеріал під впливом потоку повітря і шнека (5) починає переміщатися корпусом (4) із завантажувального бункера (3) в пневмокамеру (6). При досягненні пневмокамери відбувається зменшення швидкості потоку 6 і матеріал обсипається на скатну площину (7) [16]. Далі по скатній площині (7) матеріал рухається до вивантажувального трубопроводу (12) з шлюзовим затвором (13), який, завдяки зміщенню осі до верхньої стінки трубопроводу (12) при накопиченні матеріалу, що піднімається, повертається і проводить розвантаження установки.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Запропонована конструкція має збільшену продуктивність за рахунок суміщення процесів транспортування гвинтом і потоком повітря, і меншу травмованість за рахунок потоку повітря, що виключає осипання, і відповідно виключає заклинювання частинок матеріалу, що транспортується між гвинтом і кожухом.

2.2 Основні параметри пневмогвинтового конвеєра

Робота пневмогвинтового конвеєра відбувається за рахунок суміщення двох рушійних сил: осьової рушійної сили гвинта і потоку повітря. За рахунок одночасної роботи пневмосистеми - зі швидкістю повітря і шнека - з частотою обертання п відбувається вертикальне переміщення вантажу. Перше наводить зерно у зважений стан, друге – переміщає матеріал по напрямній.

На рисунку 2.2 представлені основні конструктивні та режимні параметри пневмогвинтового конвеєра.

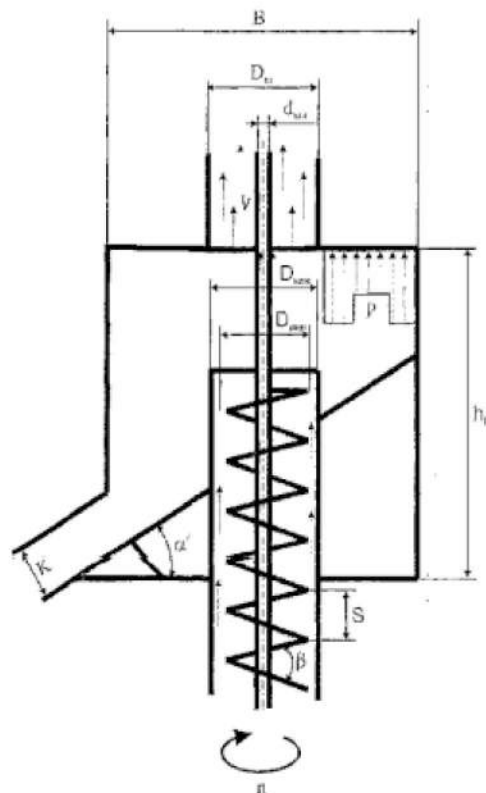


Рисунок 2.2 – Конструктивні параметри пневмогвинтової установки.

Конструктивні:

- ширина пневмокамери, B , м;
- діаметр повітропроводу, D_m , м;
- діаметр валу, $d_{вал}$, м;
- діаметр кожуха, $D_{кож}$, м;
- діаметр шнека, $D_{шн}$, м;
- висота пневмокамери, h_p , м;
- кут нахилу скатної площини, α' ;
- крок гвинта, S , м;
- висота трубопроводу, K , м;
- кут нахилу гвинтової лінії, β .

Режимні:

- швидкість повітря, v , м/с;
- тиск у пневмокамері, P , Па;
- частота обертання шнека, n , хв⁻¹.

2.3. Кінематика гвинтового конвеєра

У вертикальному гвинтовому транспортері при обертанні гвинта до кожної частки, що транспортується, будуть прикладені сили: тяжкості $-m \cdot g = G_c$ (Н), тиску гвинтової поверхні $-P_{гвин}$ (Па), тертя між частинкою і гвинтом $-m \cdot g \cdot f_1$, тиск між частинками від напруженого стану сипучого тіла $-K_0 \cdot m \cdot g \cdot f_1$, (K_0 – коефіцієнт враховує збільшення тертя на поверхні гвинта), відцентрової $-m \cdot \omega^2 \cdot R = C_c$, тертя між частинкою та кожухом $-m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot f_2$. Сумарний вплив цих сил призводить до прослизу частинок по гвинтовій поверхні і до зміщення її в осьовому напрямку.

Частинки, що рухаються периферією простору, в порожнині кожуха шнека, описують гвинтову траєкторію з кроком менше, ніж крок гвинта. Між гвинтом і

кожухом обов'язково існує зазор утворює активну і пасивну зони потоку, що рухається.

Матеріал в активній зоні знаходиться під дією гвинтової поверхні, розташування якої обмежується з одного боку зовнішньою кромкою гвинта, з іншого - внутрішньою поверхнею маси, що переміщається. У пасивній зоні матеріал знаходиться в зазорі між зовнішньою кромкою гвинта і кожухом. Притискаючись до кожуха, частинки переміщуються лише за рахунок динамічного впливу матеріалу активної зони. Цей шар називають відстаючим, тому що швидкість матеріалу в пасивній зоні менша, ніж в активній.

Розглядаючи сили, що діють на частинку А, що знаходиться на поверхні гвинта, (рисунок 2.3, 2.4) і проектуючи їх на осі координат, [16, 17] отримуємо

$$X: -F_{\text{ш}} + C_c \cdot \cos \beta + F_{\text{ц}} \cdot \cos(\beta + \delta) - G_c \cdot \sin \beta = 0, \quad (2.1)$$

$$Y: N_{\text{ш}} + C_c \cdot \sin \beta + C_c \cdot \cos \beta - F_{\text{ц}} \cdot \sin(\beta + \delta) = 0, \quad (2.2)$$

де $N_{\text{ш}}$ – нормальний тиск на поверхню гвинта, Н;

$N_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, що відповідає тиску стінки кожуха, на матеріальну частку, Н;

C_c – відцентрова сила, Н;

$N_{\text{ш}} \cdot f_{\text{ш}} = F_{\text{ш}}$ – сила тертя про виток, Н;

$N_{\text{ц}} \cdot f_{\text{ц}} = F_{\text{ц}}$ – сила тертя об стінки кожуха, Н;

β – кут нахилу гвинтової лінії, град;

δ – кут між відцентровою силою та силою тертя (про стінки кожуха), град.

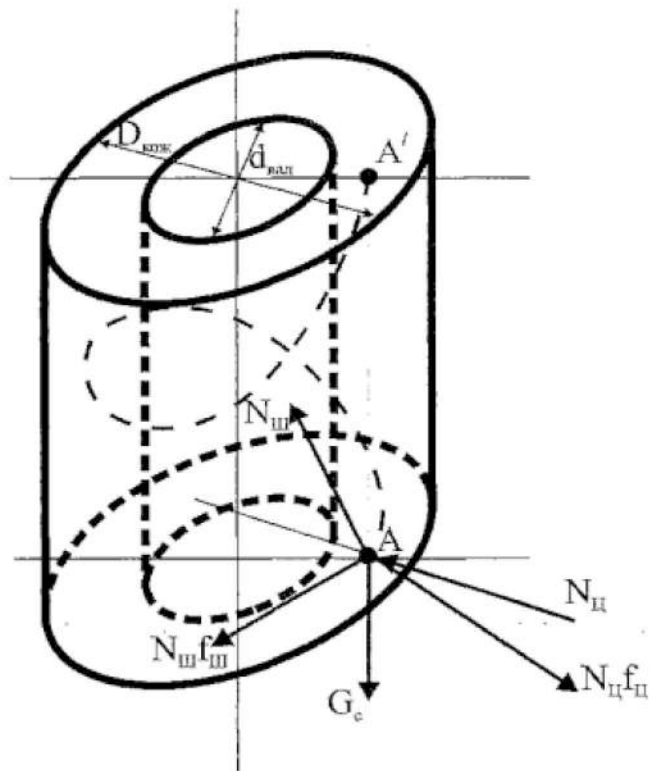


Рисунок 2.3 – Сили, що додаються до точки в гвинтовій поверхні

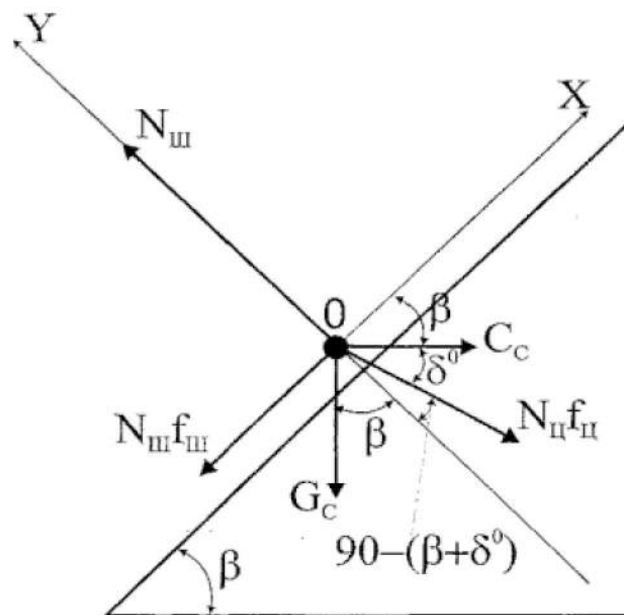


Рисунок 2.4 – Розгортання похилої площини у вертикальному конвеєрі

З отриманих виразів висловимо необхідне зусилля впливу гвинтової поверхні на частинку для переміщення

$$X: N_{ш} = \frac{-G_c \cdot \sin \beta + C_c \cdot \cos \beta + F_{ш} \cdot \cos(\beta + \delta^0)}{f_{ш}}, \quad (2.3)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$Y: \quad N_{\text{ш}} = G_c \cdot \sin \beta + C_c \cdot \cos \beta + F_{\text{ш}} \cdot \cos(\beta + \delta^\circ). \quad (2.4)$$

Отримане вираз дозволяє визначити зусилля, що діє на частину вантажу під час руху у вертикальному гвинтовому конвеєрі, без урахування сил інерції. Аналіз виразу показав, що прагнення частки прослизати по гвинтовій поверхні за рахунок сил тертя призводитиме до травмованості та зниження продуктивності.

2.4 Кінематика пневмотранспортера

При роботі вертикального пневмотранспортера, на частинки, що рухаються по повітропроводу, в загальному випадку діють три сили (рисунк 2.5): тяжкості – G_c Н, відцентрова – C_c Н, аеродинамічна – Q_a Н [16, 17, 18].

Проекції цих сил на осі координат

$$X: \quad C_c \cdot \sin \alpha'' = 0,$$

$$Y: \quad Q_a - G_c + C_c \cdot \cos \alpha'' = 0.$$

де α'' – кут відхилення відцентрової сили від аеродинамічної, град.

З отриманих виразів висловимо рушійну (аеродинамічну) силу частки

$$Y: \quad Q_a = G_c + C_c \cdot \cos \alpha''. \quad (2.5)$$

Швидкість частинки v м/с у вертикальному транспортері дорівнює [1, 18]

$$v_p = v - v_{кр}, \quad (\text{м/с}), \quad (2.6)$$

де v – швидкість повітря, м/с;

$v_{кр}$ – критична швидкість (витання), м/с.

Повний натиск p_n Па вертикального пневмотранспортера складається з динамічного або швидкісного напору p_δ Па, необхідного для подолання інерції повітря та вантажу, і статичного p_c Па [1, 18]

$$p_n = p_\delta + p_c. \quad (2.7)$$



Рисунок 2.5 – Сили що діють на частинку у вертикальному пневмотранспортері

Методом перетворень із рівняння кінетичної енергії та роботи повітряного

потoku: $E = \frac{m_e \cdot v_p^2}{2} + \frac{m_g \cdot v}{2}$ Дж і $W = p_o \cdot A \cdot v$ Дж за умови, що $E = W$ отримуємо рівняння динамічного напору

$$p_o = 0,5 \cdot \rho_g \cdot v^2 \cdot (1 + 0,72 \cdot \kappa_m), \quad (2.8)$$

де m_e, m_g – маса вантажу та повітря, кг;

v_p, v – швидкість вантажу та повітря, м/с;

ρ_g – щільність повітря, кг/м³;

κ_m – коефіцієнт масової концентрації суміші;

A – площа перерізу трубопроводу, м².

Статичний напір визначається підсумовуванням тисків на тертя p_γ Па у трубопроводі, місцевих опорів p_m Па і підйому вантажу p_n Па, що транспортується

$$p_c = p_\gamma + p_m + p_n. \quad (2.9)$$

1. Втрати тиску на тертя під час руху по трубах суміші повітря та вантажу

$$p_m = p'_\gamma \cdot (1 + \kappa_c \cdot \kappa_m), \quad (2.10)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де p'_γ – втрати тиску на тертя при русі повітря по трубах, Па,

κ_c – коефіцієнт, що залежить від концентрації суміші, швидкості та фізико-механічних властивостей вантажу.

2. Втрати тиску на місцеві опори

$$p_m = 0,5 \cdot \kappa_\xi \cdot \rho_\theta \cdot v^2, \quad (2.11)$$

де κ_ξ – коефіцієнт місцевого опору.

3. Втрати тиску при підйомі на висоту $h_{ni\delta}$

$$p_m = 0,5 \cdot \kappa_\xi \cdot \rho_\theta \cdot v^2, \quad (2.12)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с.

Повний натиск, з урахуванням всіх втрат тиску

$$p_n = p_\partial + p_m + p_m + p_n. \quad (2.13)$$

Визначивши повний напір p_n потужність двигуна N_n для приводу вентилятора визначається

$$N_n = \frac{Q_{\text{овп}} \cdot p_n}{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}, \quad (2.14)$$

де η_1 – к.к.д. вентилятора;

η_2 – к.к.д. підшипників;

η_3 – к.к.д. передачі;

$Q_{\text{овп}}$ – об'ємна витрата повітря, м³/с.

Аналіз наведених формул показує неможливість їх застосування для пневмогвинтового транспортера у зв'язку з тим, що не враховуються сили, що впливають на частину від гвинта, а також складність траси при роботі шнека в кожусі.

2.5 Дослідження динамічних течій в'язкого газу в каналі гвинтового конвеєра

У процесі подачі повітря в зернову масу, міжзернове тертя починає знижуватися, і матеріал, що транспортується, набуває властивостей рідини. У такому стані рух потоку зерна подібний до руху в'язкого газу. Тому для виявлення характеру руху матеріалу в циліндричній трубі з встановленим всередині шнеком проведені дослідження динамічних течій в'язкого газу в каналі гвинтового конвеєра.

Установилося протягом в'язкого газу каналах циліндричної форми вивчено досить добре [18]. Вирішення завдань про стаціонарний рух газу в циліндричній трубі під дією прикладеного заданого постійного перепаду тиску можна знайти в монографії Слезкина Н.А. [1, 18]. У нашому випадку необхідно досліджувати рух у циліндричній трубі із встановленим усередині шнеком. При цьому враховуватимемо рух неоднорідної багатокомпонентної суміші, включаючи сюди і потоки з твердими дисперсійними домішками в газоподібних несучих середовищах. Однією з основних ліній, які у підходах до вирішення завдань, є збереження для суміші загалом реологічного рівняння середовища. Наближене рішення цих завдань зводиться до використання наближених формул, застосування яких обмежується окремим окремим випадком руху. Такі прості формули С. Соу [18], що стверджують рівність кінематичних коефіцієнтів в'язкості та суміші їх в умови не реагує суміші, малого "ковзання" щодо середньої швидкості і малого градієнта концентрації [19]. У випадках твердої суміші, можливо, використання "поправки Ейнштейна", але вона впливає не суттєво [19].

Рівняння динаміки в'язкого газу, як правило, досить складні і вирішення їх аналітичним шляхом не завжди є раціональним. Тому будемо використовувати чисельні методи вирішення даної задачі. Аналітичне рішення цього завдання наведено у монографії [20]. Вирішення цієї задачі зводиться до рядів, що містять безселеві функції.

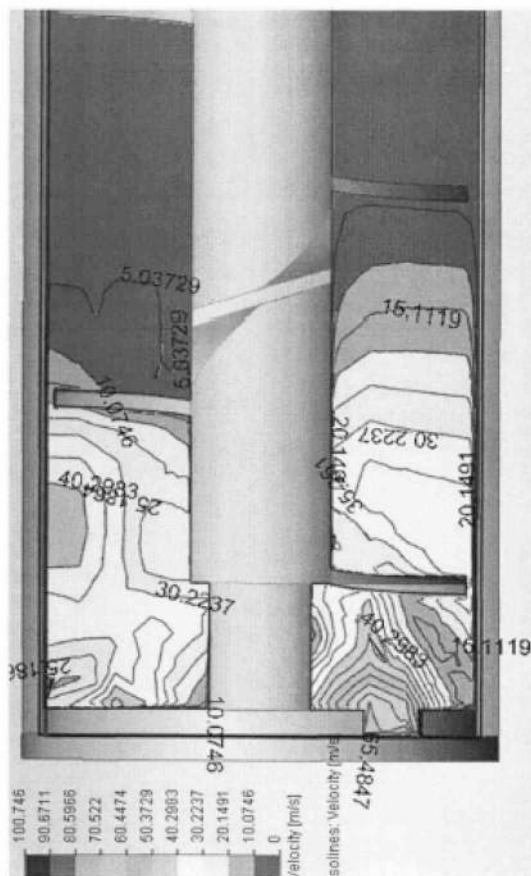


Рисунок 2.7 – Схема розподілу швидкостей у каналі шнека у поперечному напрямку

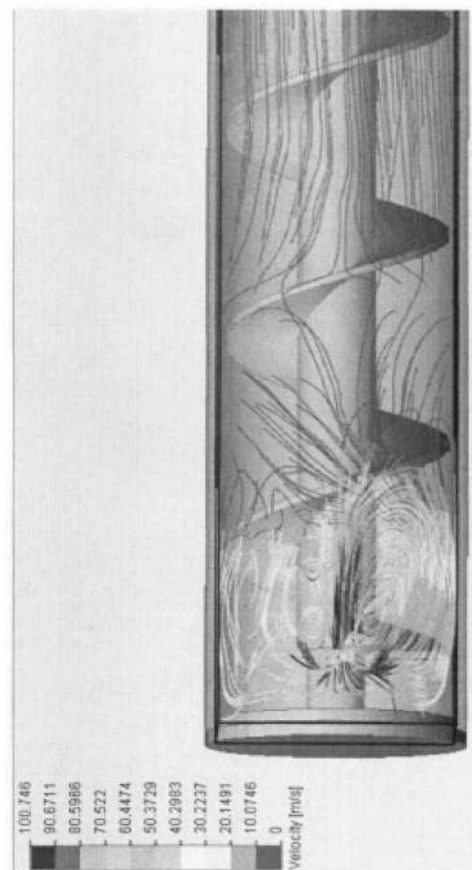


Рисунок 2.8 – Схема розподілу швидкостей у каналі шнека у поздовжньому напрямку

Формула розподілу швидкостей має вигляд:

$$\omega(r,t) = a^2 \cdot \frac{\Delta p}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot \left[1 - \frac{r^2}{a^2} - 8 \sum_{k=1}^{\infty} \exp \left(- \frac{\nu \cdot \lambda_k^2 \cdot t}{a} \cdot \frac{J_0 \cdot \left(\lambda_k \cdot \frac{r}{a} \right)}{\lambda^3 \cdot J_1 \cdot (\lambda_k)} \right) \right], \quad (2.15)$$

де a – скаляр;

Δp – перепад тиску, на заданій ділянці довжини труби t , Па;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, кг/м·с;

l – довжина ділянки, на якій заданий перепад тиску Δp , м;

r – вектор радіус-точки, м;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\nu = \mu / \rho$, м/с;

ρ – густина рідини, кг/м³;

λ – коефіцієнт опору руху рідини;

t – час, с;

λ_k – коріння рівняння $J_0 \cdot (\lambda_k) = 0$;

J_0 і J_1 – функції нульового та першого порядку.

Перші два доданки виражають рух, що встановився, і відповідають параболі Поазейля [19]. Формула секундної витрати записана у вигляді

$$Q_{\text{овн}} = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot \Delta p}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\exp \cdot \left(- \frac{\nu \cdot \lambda_k^2 \cdot t}{a^2} \right)}{\lambda_k^2} \right]. \quad (2.16)$$

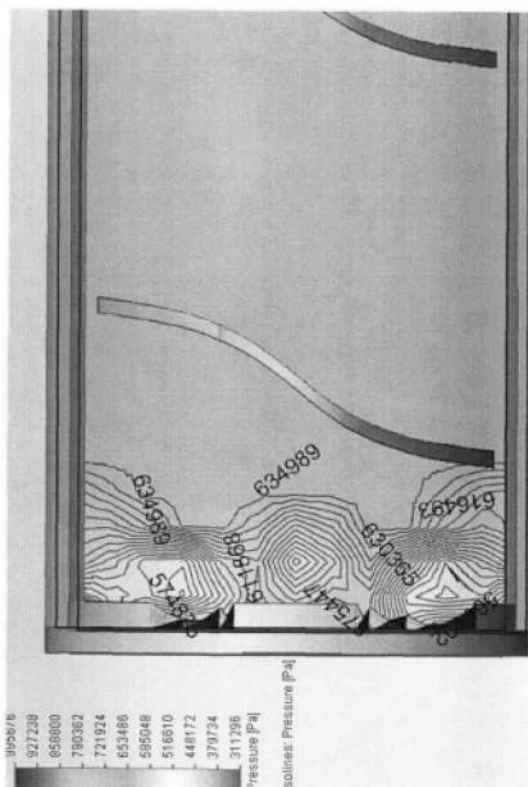


Рисунок 2.9 – Схема розподілу тиску в каналі шнека у поперечному напрямку

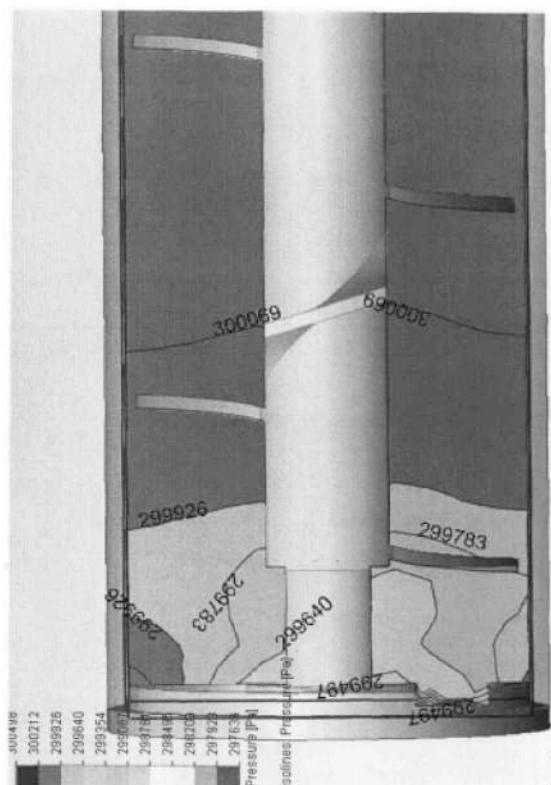


Рисунок 2.10 – Схема розподілу тиску в каналі шнека у поздовжньому напрямку

Оскільки асимптотичні рішення не дають точного опису рішення, бажано отримати чисельне рішення рівняння динаміки в'язкого газу, які описують встановилися повністю розвинене протягом каналів гвинтового транспортера з

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

урахуванням ефекту кривизни. У декардовій системі координат система, що описує перебіг в'язкого газу, описується рівняннями

$$\rho \cdot \frac{d \cdot v}{d \cdot t} = \rho \cdot F - grad \cdot \left(P_n + \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot div \cdot v \right) + 2 \cdot Div \cdot (\mu \cdot S), \quad (2.17)$$

де P_n – тензор напруг;

S – тензор швидкостей;

F – щільність розподілу об'ємних сил у точці.

В результаті проведених розрахунків:

1. Отримано чисельним методом повністю розвинену течію у криволінійному каналі. Встановлено, що на відстані понад 2-2,5 витків шнека завдання стає стаціонарним і в цьому випадку застосовується первісна постановка рішення, запропонована Н.А. Сльозкіним.

2. Аналіз, заснований на вирішенні повних рівнянь динаміки в'язкого газу, показав, що при певному відношенні сторін поперечного перерізу можливе виникнення додаткової пари вихрової течії.

3. Чисельні результати представлені у вигляді картин течії і зміни параметрів швидкості, тиску в каналі шнека конвеєра. Для ілюстрації нових аспектів течії в криволінійному каналі транспортера необхідно використовувати дрібнішу сітку, щоб отримати рішення цього завдання, що можливе, що можливо при продовженні даного напрямку дослідження.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРУ

3.1 Методика дослідження фізико-механічних властивостей зерна пшениці, соняшнику, проса

Метою експериментальних досліджень було підтвердження теоретичних положень, отриманих у розділі 2; перевірка достовірності аналітичних виразів та формул; визначення основних фізико-механічних властивостей зерна пшениці, проса, соняшнику; одержання експериментальних значень оптимальних параметрів пневмогвинтового конвеєра; перевірка у виробничих умовах ефективності застосування пневмогвинтового конвеєра.

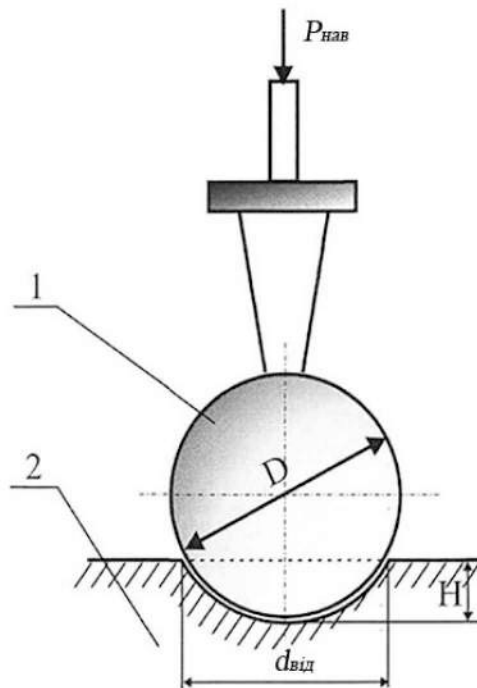
Відповідно до цього, методикою експериментальних досліджень передбачалося: дослідження фізико-механічних властивостей зерна пшениці, соняшника, проса; дослідження конструктивних та режимних параметрів пневмогвинтового конвеєра в лабораторних умовах; підтвердження одержаних результатів у виробничих умовах.

При проведенні експериментальних досліджень визначалися та контролювались фізико-механічні властивості зерна. Експеримент проводився на зразках зерна пшениці, соняшника, проса: зерно пшениці – III клас; зерно соняшнику – II клас; зерно проса – II клас [19, 20].

Для вивчення робочого процесу, забезпечення достовірності експериментів та підтвердження теоретичних положень контролювались 5 основних фізико-механічних властивостей: опір стиску та механічному контактному руйнуванню, вологість, щільність, коефіцієнт тертя, швидкість витання [20].

Визначення вологості, густини, коефіцієнта тертя, швидкості витання зерна проводилися за відомими методиками.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – сталеву кульку; 2 – поверхню зерна; $P_{нав}$ – напрямок навантаження, H – глибина занурення кульки, $d_{від}$ – діаметр відбитка, D – діаметр кульки

Рисунок 3.1 – Схем визначення твердості зерна

Визначення опору стиску та механічного контактного руйнування зерна проводилися за методикою (рисунок 3.1) [19].

Сталева кулька (1) з нікелевою поверхнею вдавлюється в поверхню зерна і заміряється площа відбитка, що залишився. Далі напруга контактного руйнування визначалося за виразом:

$$\sigma = \frac{4 \cdot P_{нав}}{\pi \cdot d_{від}^2}, \quad (3.1)$$

де $P_{нав}$ – задане навантаження, Н;

$d_{від}$ – діаметр відбитка, мм.

Проводилися дослідження схожисті зерна [19, 20] після транспортування установкою. З партії насіння, відповідно до ГОСТу 12036-66 «Відбір зразків», відбирався середній зразок, з якого було взято дві навішування по 50 г, далі з кожної навішування брали на проби по 100 насінин.

Проведені досліди показали, що розбіжності між двома вибірками не перевищували 5%, що відповідає вимогам Держстандарту.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2 Опис експериментальної установки

Пневмогвинтовий конвеєр для вертикального переміщення сипучих вантажів (рисунок 2.1, 3.2) складається з жорстко закріпленого на станині (1) завантажувального бункера (3) в днищі якого на підшипниках встановлений шнек (5). Шнек (5) розташований вертикально.

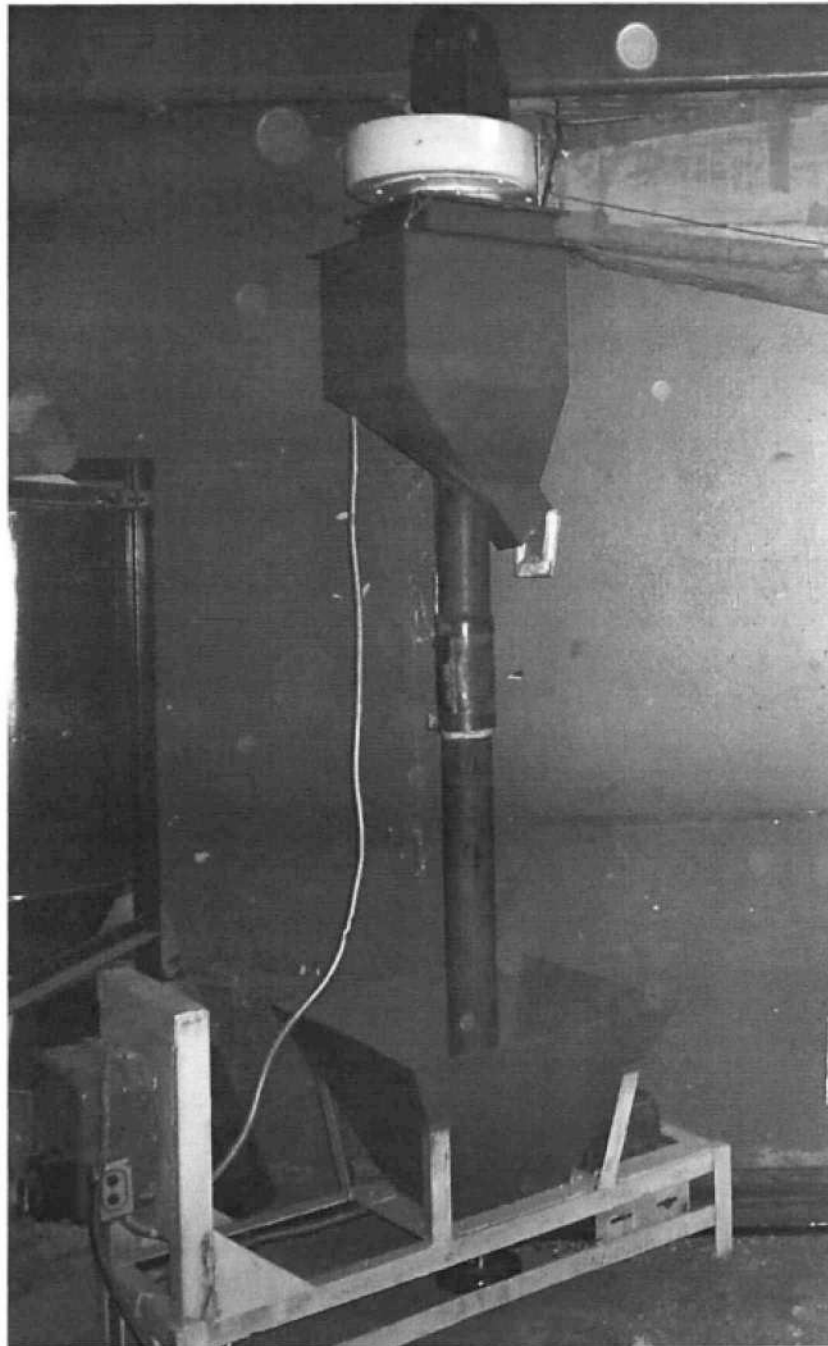


Рисунок 3.2 – Експериментальна установка

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ

Аркуш

36

Вал шнека проходить по всій довжині установки, а саме через корпус (4), пневмокамеру (6) і кріпиться в підшипнику встановленому на верхній стінці повітропроводу (11). Корпус (4) болтовим з'єднанням кріпиться до дна завантажувального бункера (3). Болтовим з'єднанням до станини (1) прикріплена приводна система (2) з'єднана з валом шнека (5) за допомогою ремінної передачі. Протилежна сторона корпусу (4) від завантажувального бункера (3) приєднується до пневмокамери (6). Пневмокамера (6) забезпечена скатною площиною (7), кут нахилу якої збігається з кутом нахилу вивантажувального трубопроводу (12), який вбудований шлюзовий затвор (13) зі зміщеною до верхньої стінки трубопроводу (12) віссю. Протилежна від корпусу (4) частина пневмокамери (6) приєднується до повітропроводу (11), що веде до вентилятора (8), з'єданого за допомогою валу з приводною системою (9). У верхній стінці повітропроводу (11) підшипниковим з'єднанням кріпиться вал шнека (5), а біля входу у вентилятор (8) вбудована заслінка (10), що фіксується болтовим з'єднанням.

Під час проведення експериментів лабораторна установка дозволяла моделювати робочий процес реального пневмогвинтового конвеєра. Режимні параметри: частота обертання шнека задавалася шляхом заміни шківів (рис. 3.4) та вимірювалася за допомогою тахометра типу «94п» (рис. 3.5.).



Рисунок 3.3 – Чашкови манометр АП1М2

Швидкість повітря, що задається вентилятором, змінювалася шляхом заміни заслінок (рисунок 3.6.), виміри проводилися за допомогою чашкового анемометра типу АП1М2 (рисунок 3.3.), маса зерна замірялася за допомогою підлогових ваг, час транспортування замірявся секундоміром.

Проводились виміри сили струму та напруги за допомогою амперметра A та вольтметра V (рисунок 3.7, 3.8) для розрахунку потужності.

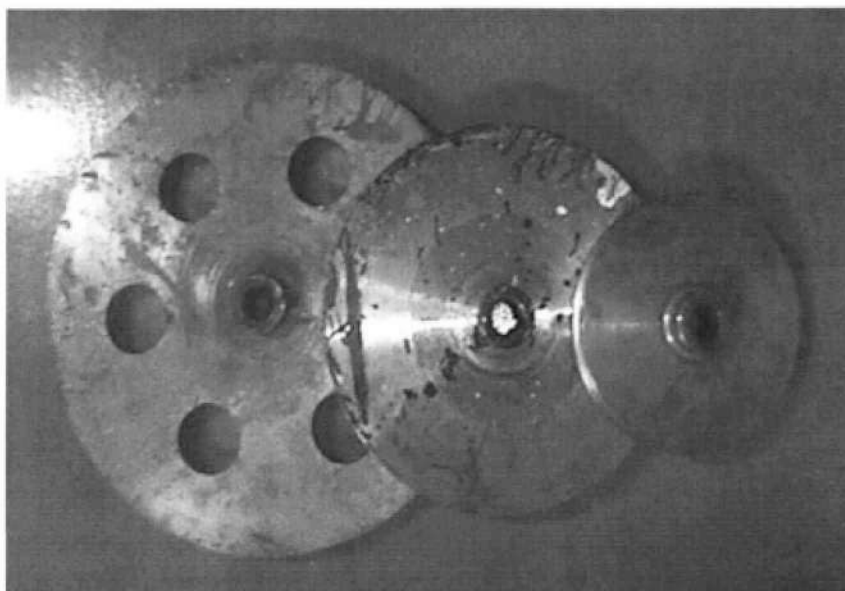
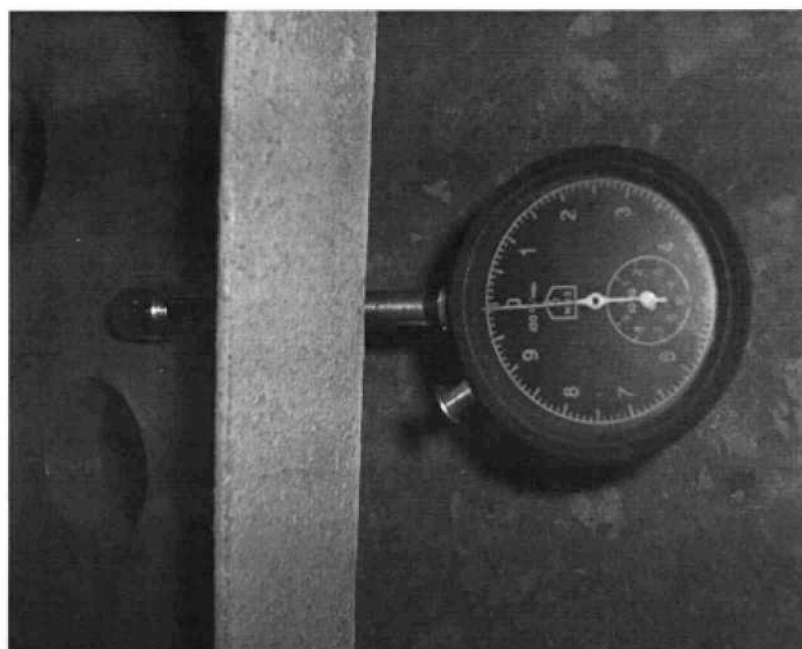
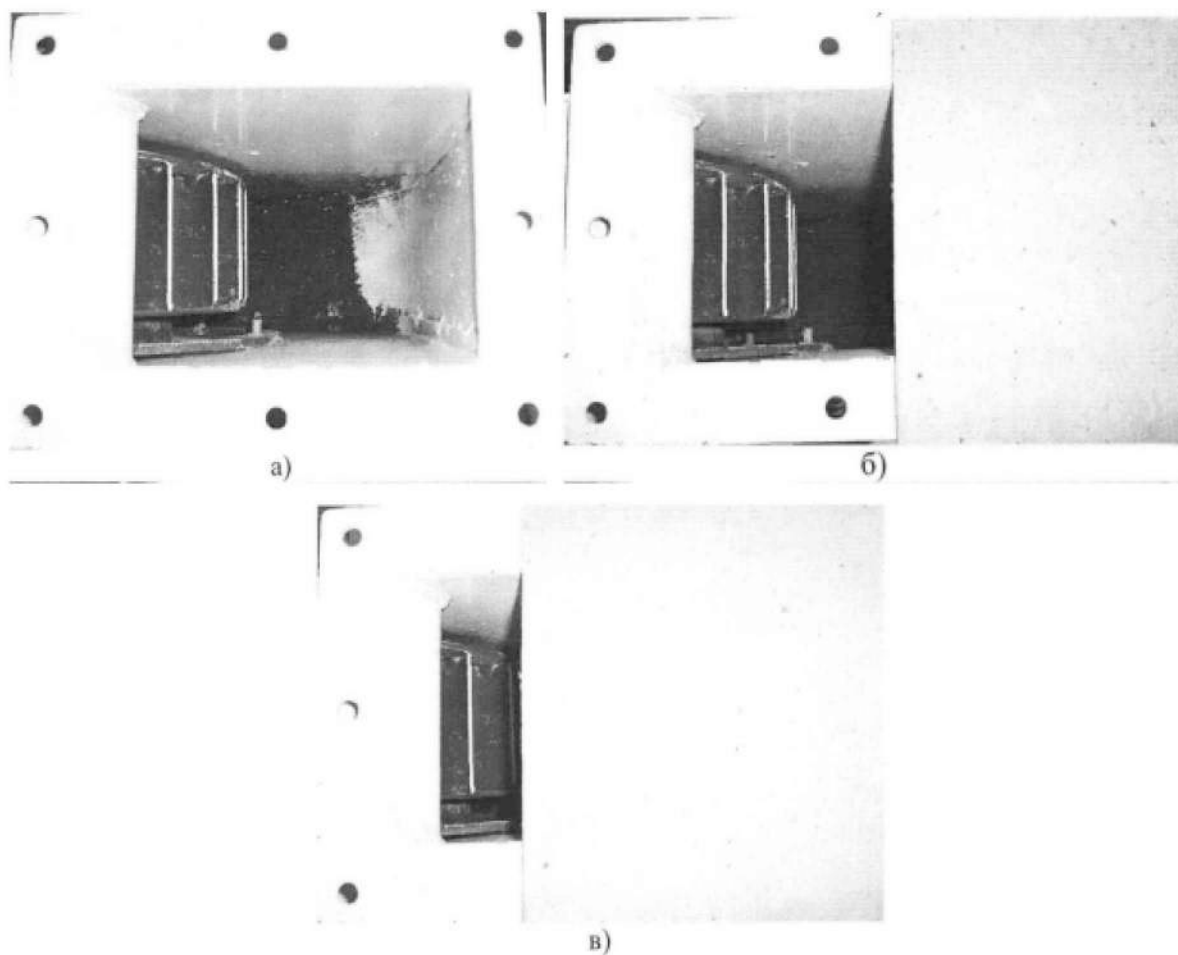


Рисунок 3.4 – Змінні шківів експериментальної установки



Риснуок 3.5 – Тахометр типу «94п»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



а – без заслінки; б – заслінка перекриває 1/3 вікна на виході вентилятора, в – заслінка перекриває 2/3 вікна на виході вентилятора

Рисунок 3.6 – Заслінки на вентиляторі



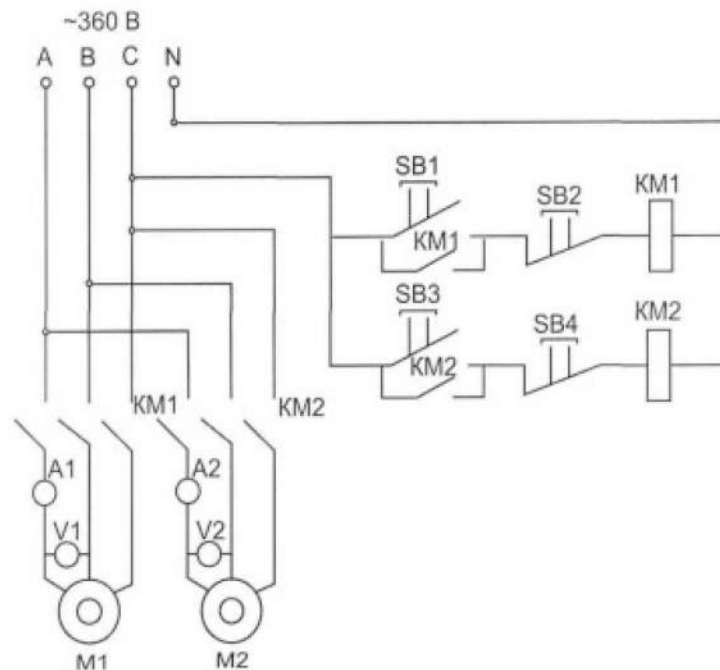
Рисунок 3.7 – Вимірювальні прилади: амперметр, вольтметр

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ

Аркуш

39



М – електродвигун, КМ – магнітний пускач, SB – кнопки управління, А – амперметр, V – вольтметр

Рисунок 3.8 – Електрична схема експериментальної установки з вимірювальними приладами

3.3 Порядок проведення досліджень

Послідовність проведення кожного лабораторного експерименту включала такі основні елементи:

- визначалася кількість дослідів, значення та послідовність завдання рівнів факторів;
- підготовка установки, приладів та обладнання до експерименту, завдання режимних параметрів;
- проведення дослідів;
- контроль фізико-технічних властивостей зерна, на якому велися дослідження;
- оцінка якості проведення дослідів та обробка результатів.

Підготовка установки полягала у перевірці справності приладів, реєструючої апаратури, електроприводів, їх та налаштуванні. Завдання рівнів режимних параметрів проводилося заміною елементів конструкції.

Кожен досвід проводився в наступній послідовності:

1. Зважування зернової маси.
2. Подача зерна до завантажувального бункера транспортера.
3. Підготовка вузлів, електроприводів та реєструючої апаратури.
4. Увімкнення реєструючої апаратури.
5. Завдання чи контроль конструктивних параметрів. Установка шківів на вал шнека і заслінки на вентилятор, відповідних необхідним значенням кутової швидкості шнека і швидкості повітря.
6. Увімкнення реєструючої апаратури.
7. Включення у роботу електроприводів: одночасно.
8. Відключення електроприводів після підйому матеріалу, що транспортується.
9. Вимкнення реєстраційної апаратури.
10. Повернення установки у вихідний стан.

3.4 Методика планування лабораторних експериментів

Програма лабораторних досліджень складалася із 2-х частин. Перша частина - підбір та оптимізація конструктивних параметрів та встановлення впливу фізико-механічних властивостей зерна на робочий процес. Друга частина – оптимізація режимних параметрів пропонованого пневмовинтового транспортера, де увага приділялася визначенню оптимального співвідношення частоти обертання шнека та швидкості повітря.

Об'єктами досліджень були абсолютні величини: діаметр шнека $D_{\text{вин}}$ і крок гвинта S , кут нахилу гвинтової лінії β , а також залежні від них відносні величини,

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт, що показує відношення кроку гвинта до діаметра шнека – $\kappa_p = S / D_{\text{шн}}$,

а також режимні параметри: частота обертання шнека n , швидкість повітря v .

На підставі проведених досліджень та попередніх розрахунків, теоретично викладених у 2 розділі, прийняті наступні конструктивні параметри конвеєра: діаметр шнека $D_{\text{шн}} = 0,08$ м та крок гвинта $S = 0,08$ м, кут нахилу гвинтової лінії $\beta = 45^\circ$; режимні параметри: частота обертання шнека $n = 532, 727, 900, 1076 \text{ хв}^{-1}$, швидкість повітря $v = 0; 5,5; 7,5; 9,5$ м/с. Дослідження конструктивних і режимних параметрів проводилося на експериментальній установці, що дозволяє повністю моделювати робочий процес [23].

Для дослідження впливу режимних параметрів на продуктивність піємовинтового транспортера і травмованість зерна, що транспортується, був обраний несиметричний двох факторний план (таблиця 3.1.)

Фактором A в цьому плані є частота обертання шнека, яка задавалася за 4 рівнями. Фактором B , є швидкість повітря задається по 4-х рівнях. Для забезпечення довірчої ймовірності 0,95 потрібна чотириразова повторність досвіду [23]. Область оптимального розташування плану перебуває за попередніми експериментами.

Таблиця 3.1 – Несиметричний двофакторний план експерименту

№ варіанту	Рівень фактору		Позначення досліду
	A	B	
1	4	3	a_4b_3
2	1	2	a_1b_2
3	2	2	a_2b_2
4	3	1	a_3b_1
5	2	4	a_2b_4
6	4	4	a_4b_4
7	2	3	a_2b_3
8	1	1	a_1b_1
9	3	2	a_3b_2
10	1	3	a_1b_3
11	1	4	a_1b_4

12	4	1	$a_4 v_1$
13	2	1	$a_2 v_1$
14	3	3	$a_3 v_3$
15	3	4	$a_3 v_4$
16	4	2	$a_4 v_2$

Під час експерименту при одному досвіді фіксувалися 2 параметри, представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Режимні параметри експериментальної установки, що задаються

Параметри	Одиниці виміру	Значення
Частота обертання шнеку	хв^{-1}	
a_1		532
a_2		727
a_3		90
a_4		1076
Швидкість повітря	м/с	
v_1		0
v_2		5,5
v_3		7,5
v_4		9,5

Отримані результати оброблялися на ЕОМ з допомогою пакета програм обробки експерименту.

В результаті вийшло рівняння регресії виду:

$$\gamma_1 = A_1 \cdot n^J + A_2 \cdot n + A_3 \cdot v^J + A_4 \cdot v + A_5, \quad (3.2)$$

де γ_1 – критерії оптимізації;

A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 – коефіцієнт регресії;

n – частота обертання шнека, хв^{-1} ;

v – швидкість повітря, м/с ;

J – показник ступеня.

Під час обробки результатів експерименту визначали дисперсію, коефіцієнт варіації, закон розподілу, кореляційні функції, коефіцієнт кореляції.

Завдання регресійного аналізу полягає в побудові такого рівняння площини $(p+1)$ -мірному просторі, відхилення результатів спостереження Y_i від якого були б мінімальними. Або іншими словами слід обчислити значення коефіцієнтів A_0 і A_i у поліномі (3.2).

Перевірка значущості множинного рівняння регресії складається з наступних етапів [23].

Обчислюють залишкову дисперсію за формулою:

$$\bar{S}_{ост}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{n - p - 1}, \quad (3.3)$$

яку потім порівнюють з дисперсією середнього $\bar{S}_y^2$ за допомогою F_k – критерію Фішера:

$$\hat{F}_k = \frac{\bar{S}_y^2}{\bar{S}_{ост}^2}, \quad (3.4)$$

з числом ступеня свободи в числі $v_{01} = n - 1$ і в знаменнику $v_{02} = n - p - 1$.

Рівняння (3.2) передбачає результати дослідів краще середнього, якщо $\bar{F}$ досягається або перевищує межу значущості за вибраного рівня значущості.

Значимість коефіцієнтів регресії A_0 , A_i перевіряють за критерієм Стюдента

$$\hat{t} = \frac{A_i}{S_{bi}}. \quad (3.5)$$

Обчислене значення $\hat{t}$ порівнюють з t^T при числі ступеня свободи $v_0 = n - p - 1$.

Похибка коефіцієнта регресії:

$$\bar{S}_{Ai} = \sqrt{\bar{S}_{ост}^2 \cdot C_{ii}}. \quad (3.6)$$

Довірчий інтервал для коефіцієнта регресії:

$$A_i - t^T \cdot \bar{S}_{Ai} \leq \beta_i \leq A_i + t^T \cdot \bar{S}_{Ai}, \quad (3.7)$$

де β_i – значення для коефіцієнта регресії у генеральній сукупності.

3.5 Програма та методика виробничих випробувань пневмогвинтового конвеєра

За результатами лабораторних експериментів була розроблена програма та методика виробничих випробувань, які повинні були підтвердити:

- ефективність пневмогвинтового конвеєра, що полягає у збільшенні продуктивності та зниженні травмованості зерна, що транспортується;
- достовірність теоретичних розробок та результатів лабораторних експериментів щодо визначення режимних та конструктивних параметрів у виробничих умовах;
- техніко-економічні показники пропонованого пневмогвинтового конвеєра.

Виробничий зразок пневмогвинтового конвеєра був сконструйований на основі попередніх розрахунків, розглянутих у другому розділі, та результатів отриманих у ході лабораторних експериментів (рисунок 3.9).

Перед початком роботи встановлюються режимні параметри транспортера, що відповідають вантажу, що транспортується.

При роботі пневмогвинтовий конвеєр починає під впливом потоку повітря та шнека переміщати зерно по кожуху із завантажувального бункера в пневмокамеру. Звідки трубопроводом за допомогою шлюзового затвора зерно розвантажується.

Програма виробничих випробувань включала технічні виміри і спостереження.

Для визначення продуктивності пневмогвинтового конвеєра та травмованості транспортованого зерна проводилися виміри наступних основних показників:

- маси зерна, що транспортується
- час транспортування зерна
- перевірка та підрахунок зерна, що травмується.

Продуктивність вертикального пневмогвинтового транспортера визначалася за формулою [24]

$$Q_{\text{вер}} = \frac{m_z}{t}, \quad (3.6)$$

де m_z – маса вантажу, кг

t – час підйому вантажу на задану висоту, хв.

За отриманими даними проводилося визначення техніко-економічних показників пропонованого пневмогвинтового конвеєра.



Рисунок 3.9 – Виробнича пневмогвинтова установка

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТІВ

4.1. Фізико-механічні властивості вантажів

Фізико-механічні властивості вантажу є одним із основних факторів, що впливають на роботу пневмогвинтового конвеєра. Зміни властивостей можуть походити від таких факторів, як: вологість, тривалість зберігання, наявності сторонніх домішок, нормального тиску і т.д.. Об'єктом досліджень були зерно пшениці, соняшнику, проса. Ці матеріали взяті безпосередньо з виробничих умов. Досліджувалися: щільність, коефіцієнти внутрішнього f_m та зовнішнього тертя. Дослідження проводилися за відомими методиками. Результати досліджень зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Фізико-механічні властивості зерна

Фізико-механічні властивості	Позначення, розмірність		Пшениця	Соняшник	Просо
Щільність	ρ	кг/м ³	740...760	309...350	830...845
Вологість	$W_{вл}$	%	10,5...12	12...13,5	6,5...7
Коефіцієнт тертя: - зовнішнього (по сталі)	f		0,41...0,43	0,50...0,52	0,40...0,41
- внутрішнього	$f_{вн}$		0,50...0,54	0,60...0,62	0,53...0,54
Швидкість гвинта	$v_{кр}$	м/с	10...11	7...8	11...12
Сила опору стиску	$F_{сж}$	Н/мм	140...150	70...80	75...85

Аналіз фізико-механічних властивостей досліджуваних матеріалів показує, що найбільшу густину має просо. У той же час, на продуктивність установки великий вплив надає швидкість витання, найбільше значення якого має зерно соняшнику.

На травмованість значний вплив чинить опір стиску та механічному контактному руйнуванню зерна – здатність зерна чинити опір руйнуванню та отриманню залишкових деформацій при дії зовнішніх сил.

З досліджуваних матеріалів найбільший опір стиску має зерно пшениці.

4.2 Результати досліджень впливу режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки

Перший етап експериментальних досліджень включав серію одно-факторних експериментів щодо встановлення впливу реальних параметрів на продуктивність Q кг/хв конвеєра. В якості основних режимних параметрів були обрані частота обертання шнека n і швидкість повітря, що подається вентилятором. Саме ці режимні параметри визначають фізичну картину процесу переміщення вантажу конвеєром.

Результати другого етапу експериментальних досліджень дозволили виявити вплив режимних параметрів на травмованість $f\%$ матеріалу, що транспортується. Дослідження проводилися на зерні пшениці, соняшнику, проса. Задавались 3 частоти обертання шнека: $n = 532; 727; 900, 1076$ хв і змінювалася швидкість потоку повітря: $v = 0; 5,5; 7,5; 9,5$ м/с.

4.3 Вплив режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки під час роботи із зерном пшениці

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити вплив частоти обертання та швидкості повітря на продуктивність для зерна пшениці. В результаті обробки дослідних даних отримано залежність для зерна пшениці, які представлені на рисунку 4.1.

Рівняння регресії, що описують залежність продуктивності установки від частоти обертання має вигляд:

$$Q = 0,1845 \cdot n - 0,5n^2 - 54,66 - 9 \cdot E, \text{ при } v = 9,5, \quad (4.1)$$

$$Q = 0,1538 \cdot n - 0,5n^2 - 43,93 - 8 \cdot E, \text{ при } v = 7,5, \quad (4.2)$$

$$Q = 0,1231 \cdot n - 0,5n^2 - 33,2 - 6 \cdot E, \text{ при } v = 5,5, \quad (4.3)$$

$$Q = 0,1028 \cdot n - 0,5n^2 - 30,808 - 5 \cdot E, \text{ при } v = 0. \quad (4.4)$$

Аналіз отриманих залежностей показує, що підвищення продуктивності при збільшенні частоти обертання шнека має місце, як без подачі повітря, так і при всіх значеннях швидкостей повітря, що приймаються (рисунок 4.1).

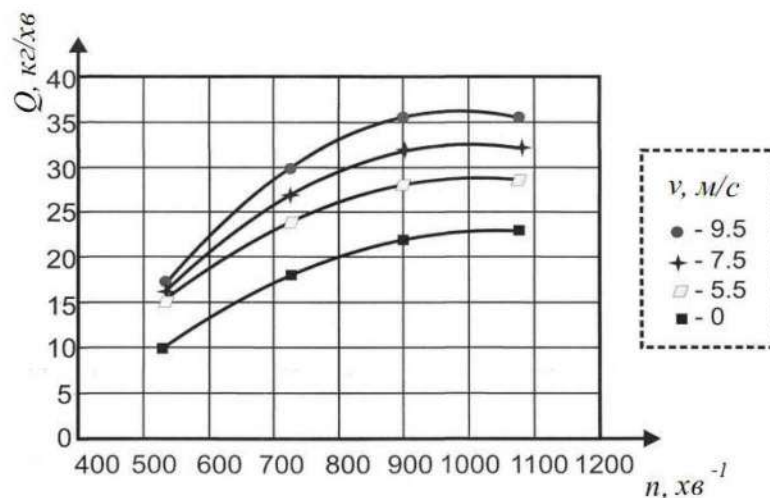


Рисунок 4.1 – Залежність продуктивності пневмогвинтової установки під час роботи із зерном від частоти обертання гвинта при різних швидкостях повітря

Розглядаючи залежності продуктивності пневмогвинтового конвеєра від частоти обертання, видно, що основними рушійними силами є сили шнека, що впливають на зернівку. Зростання продуктивності спостерігається як і під час збільшення швидкості потоку повітря.

При $n = 532 \text{ хв}^{-1}$ і швидкості повітря 5,5 м/с спостерігається зростання Q на 50% в порівнянні з вертикальним гвинтовим конвеєром без подачі повітря, При тих же обертах $v = 7,5 \text{ м/с}$ та $v = 9,5 \text{ м/с}$ збільшення продуктивності по відношенню до роботи транспортера зі швидкістю повітря 5,5 м/с становить - на 10% і 20%. В результаті продуктивність на 60% та 70% більше по відношенню до продуктивності конвеєра без роботи пневмосистеми. Збільшуючи частоту обертання до 727 та $v = 5,5 \text{ м/с}$ продуктивність збільшується по відношенню до вертикального гвинтового конвеєра при 727 хв^{-1} на 33%, при $v = 7,5 \text{ м/с}$ Q підвищується до 50%, при $v = 9,5 \text{ м/с}$ збільшення Q досягає 66%. Відсоткове відношення при $n = 900 \text{ (хв}^{-1}\text{)}$ виглядає таким чином, при $v = 5,5 \text{ м/с}$ Q збільшується на 27%, при $v = 7,5 \text{ м/с}$ на 45 %, при $v = 9,5 \text{ м/с}$ на 61%. При $n = 1076$

хв^{-1} зростання Q йде при $v = 5,5$ м/с на 24 %, при $v = 7,5$ м/с на 40%, при $v = 9,5$ м/с на 55%. Отримані дані зведені до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведені дані результатів

Збільшення продуктивності – зерна %				
$m, \text{м/с} / n, \text{хв}^{-1}$	532	727	900	1076
0	0	0	0	0
5,5	50	33	27	24
7,5	60	50	45	40
9,5	70	66	61	55

При подачі зерна та збільшення частоти обертання шнека продуктивність зростає залежно від близької до прямопропорційної. Дана залежність спостерігається при всіх швидкостях потоку повітря зі зростанням n до 727 хв^{-1} . При подальшому збільшенні n продуктивність зростає по квадратичній залежності, а потім починає знижуватися. Зниження продуктивності відбувається зі значення 1000 хв^{-1} . З графіків видно, що максимальна продуктивність спостерігається при n з $950 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$, при всіх досліджуваних швидкостях потоку повітря.

Такий вплив пояснюється поєднанням сил, що впливають на частинку від потоку повітря і шнека. При малій частоті обертання шнека зерно в своїй основній масі переміщається за рахунок рушійних сил шнека. Повітря впливає небагато через великий опір руху (складної траси). Зі збільшенням частоти обертання вплив на зерно шнеком збільшується і одночасно зростає вплив потоком повітря за рахунок зменшення опору та збільшення подачі матеріалу. Зменшується міжзернове тертя, тертя зерна про кожух та гвинт-зернова маса приймає псевдозріджений стан. Коли швидкість частинки, що переміщується потоком повітря, стає більше швидкості частки шнеком, що переміщується, робота шнека стає неефективною і зростання продуктивності припиняється [114].

Збільшення n з 532 до 727 хв^{-1} призводить до зміни Q при $v = 0$ м/с з 10 до 18 кг/хв, при $v = 5,5$ м/с з 15 до 24 кг/хв, при $v = 7,5$ м/с з 16 до 27 кг/хв, при $v = 9,5$ м/с з 17 до 30 кг/хв. У той час, коли частота обертання зростає до 900 хв^{-1} продуктивність при $v = 0$ м/с змінюється з 18 до 22 кг/хв, при $v = 5,5$ м/с з 24 до 28 кг/хв, при $v = 7,5$ м/с з 27 до 32 кг/хв, при $v = 9,5$ м/с з 30 до 35,5 кг/хв. При

збільшення частоти обертання до 1076 хв^{-1} при $v = 0 \text{ м/с}$ продуктивність змінюється з 22 до 23 кг/хв, при $v = 5,5 \text{ м/с}$ з 28 до 28,5 кг/хв, при $v = 7,5 \text{ м/с}$ та $v = 9,5 \text{ м/с}$ залишається на тому ж рівні 32 і 35,5 кг/хв.

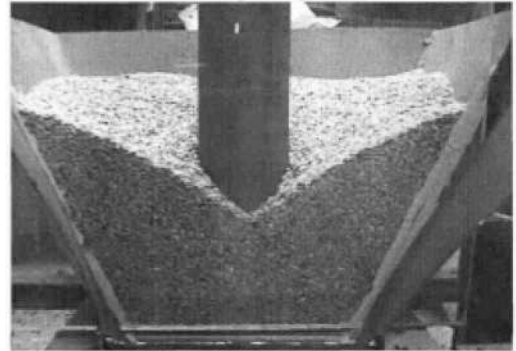
Фрагменти досліджень продуктивності з використанням пневмосистемних при транспортуванні зерна пшениці представлені на рисунку 4.2.

Робота гвинтового транспортер $n = 532 \text{ хв}^{-1}$

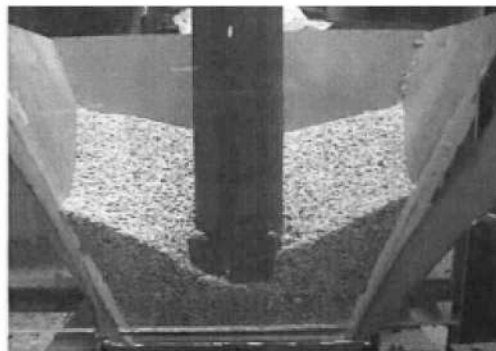
ввімкнення



35 секунд роботи

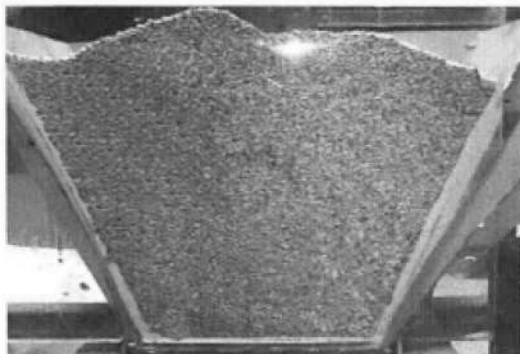


75 секунд роботи

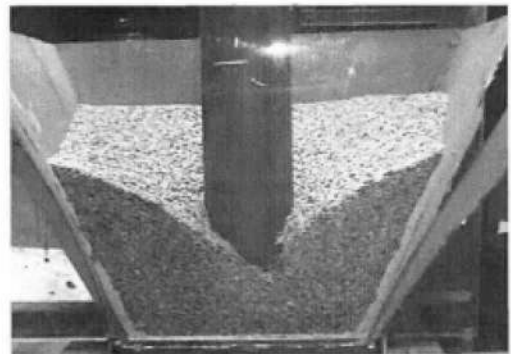


Робота пневмогвинтового транспортера $n = 532 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5 \text{ м/с}$

ввімкнення



35 секунд роботи



75 секунд роботи

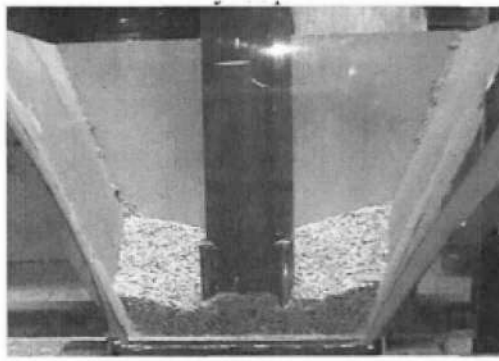


Рисунок 4.2 – Робота гвинтового та пневмогвинтового транспортера із зерном пшениці протягом однакового періоду часу

Одним з важливих показників ефективності роботи вертикального гвинтового і пневмогвинтового конвеєра, є травмованість зерна, що переміщається.

Для отримання залежності травмованості зерна пшениці, що транспортується, від частоти обертання шнека отримані рівняння регресії:

$$f = 2,383 \cdot \ln \cdot (n) - 16,308 \text{ при } v = 9,5 \text{ м/с,} \quad (4.5)$$

$$f = 2,2826 \cdot \ln \cdot (n) - 12,868 \text{ при } v = 7,5 \text{ м/с,} \quad (4.6)$$

$$f = 1,5497 \cdot \ln \cdot (n) - 8,2854 \text{ при } v = 5,5 \text{ м/с,} \quad (4.7)$$

$$f = 8,482 \cdot \ln \cdot (n) - 51,113 \text{ при } v = 0 \text{ м/с.} \quad (4.8)$$

Графічно дані рівняння представлені рисунку 4.3.

Розглядаючи вплив частоти обертання шнека на травмованість зерна, що транспортується, видно, що без подачі повітря при 532 хв^{-1} травмованість досягає 2 %, що є допустимим для посадкового матеріалу. При збільшенні частоти обертання до 727 хв^{-1} – досягає 5 %. Такий відсоток травмування допускається в борошномельній промисловості для отримання вищого гатунку борошна. Подальше зростання / знижує якісні показники продуктів переробки зерна пшениці, що може відбуватися зі збільшенням кількості оборотів шнека понад 730.

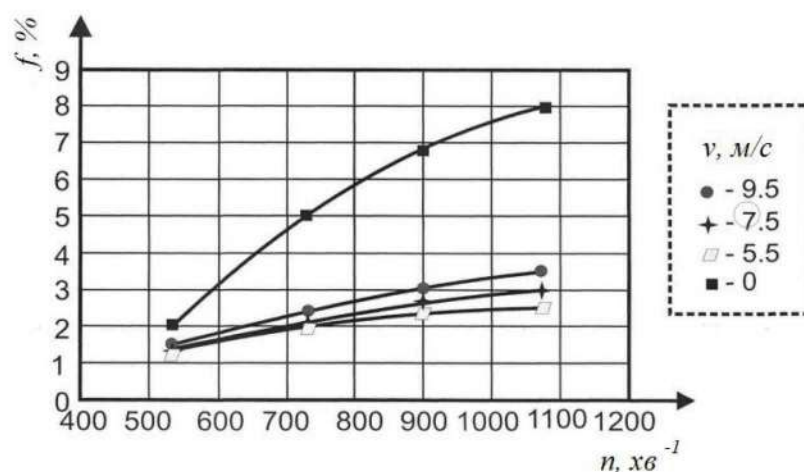


Рисунок 4.3 – Залежність травмованості зерна, що транспортується, пшениці від частоти обертання гвинта при різних швидкостях повітря

Подача повітря в пневмогвинтовій установці значно знижує травмування. При швидкості повітря 5,5 м/с не виходить за 2% при $n = 760 \dots 780 \text{ хв}^{-1}$ шнека, що допустимо, як для насіннєвого зерна, так і для зерна в борошномельній промисловості. Збільшення частоти обертання до 1076 хв^{-1} призводить до зростання травмованості до 2,5%. Такий відсоток підходить до борошномельного виробництва, але не допускається для роботи з посадковим матеріалом. При збільшенні швидкості повітря до 7,5 м/с зростання травмованості виходить за 2% при $690 \dots 710 \text{ хв}^{-1}$ до 3%, що допустимо лише у борошномельному виробництві. З підвищенням U повітря до 9,5 м/с допустиме зростання травмованості 2% спостерігається при частоті обертання шнека $620 \dots 640 \text{ хв}^{-1}$. Таким чином, при подачі повітря в діапазоні заданих значень, травмованість не виходить за 5%, що допускаються [116].

Аналіз отриманих даних по продуктивності, при транспортуванні зерна пшениці та травмованості матеріалу дозволяє знайти оптимальні режимні параметри роботи пневмогвинтового конвеєра.

З графіків видно, що в заданих параметрах, максимальну продуктивність конвеєр досягає при $n = 950 \dots 980 \text{ хв}^{-1}$, $v = 9,5 \text{ м/с}$. Загальна оцінка ефективності роботи пневмогвинтової установки буде не повною без урахування травмованості зерна, що транспортується.

Поєднуючи дані щодо продуктивності та травмованості, отримуємо оптимальні режимні параметри конвеєра для посівного матеріалу (рисунок 4.4) з допускається трав світу місткістю 2 %: $i = 7,5$ (м/с); $v = 690$ хв⁻¹; $Q = 25,5$ кг/хв. Для борошномельної промисловості, з допущеною травмованістю 5 %, в заданому інтервалі, оптимальні значення будуть збігатися з максимальними величинами параметрів: $v = 9,5$ м/с, $n = 1076$ хв⁻¹; $Q = 35,5$ кг/хв [117, 118].

4.4 Продуктивність пневмогвинтового конвеєра під час транспортування зерна пшениці

Продуктивність вертикального пневмогвинтового конвеєра, з одного боку, визначаються продуктивністю гвинта $Q_{гвин}$, з іншого – продуктивністю пневмосистеми $Q_{пн}$. Взаємне поєднання цих двох складових та обумовлюють дійсну продуктивність пневмовинтового конвеєра. Оптимальним є виконання умови, що $Q_{гвин} = Q_{пн}$, проте практично виконати дану умову складно.

Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити характер зміни продуктивності при різних поєднаннях $Q_{гвин}$ і $Q_{пн}$. За даними було побудовано рівняння регресії, що достовірно описує характер зміни

$$Q = 0,141 \cdot n - 7,03 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 + 0,0249 \cdot v^2 + 0,872 \cdot v - 46,655, \quad (4.9)$$

де n – частота обертання шнека, хв,

v – швидкість повітря на виході пневмосистеми, м/с.

Графічне рівняння може бути представлене у формі поверхні відгуку (рисунок 4.5). Поверхня відгуку, що відображає залежність продуктивності від частоти обертання шнека і швидкості повітря, має форму відому в літературних джерелах, як «поверхня типу підвищується гребеня». Інтерпретація поверхні відгуку дозволяє провести аналіз результатів досліджень. Зі зростанням частоти обертання шнека продуктивність пневмогвинтової установки зростає до певного значення, за яким слідує стаціонарна область. Зі збільшенням швидкості повітря

продуктивність також зростає до певного значення v , більших ніж значення стаціонарної області, у яких продуктивність знову починає знижуватися.

Аналіз поверхні відгуку показує, що зі збільшенням частоти обертання шнека продуктивність конвеєра збільшується. Проте, зростання продуктивності відбувається у межах, де $Q_{вин} > Q_{пн}$, до певного значення n , у якому $Q_{вин} = Q_{пн}$. Подальше збільшення частоти обертання не призводить до збільшення продуктивності пневмогвинтового конвеєра, так як швидкості повітря, що переміщують частинку, стають більше швидкостей шнека переміщують зерно і шнек починає перешкоджати пересуванню потоку матеріалу. Такий характер зміни найбільш наочно проявляється при $n = 700 \dots 1100 \text{ хв}^{-1}$ зі зростанням v і від 7,5 до 9,5 м/с. Подальше збільшення швидкості повітря веде до того, що зерно переміщається тільки за рахунок швидкості повітря та робота шнека стає не ефективною.

Таким чином, основною рушійною силою пневмогвинтового транспортера є сили шнека, і зростання продуктивності в більшій частці відбувається зі збільшенням частоти обертання шнека n в межах умови $Q_{вин} \geq Q_{пн}$.

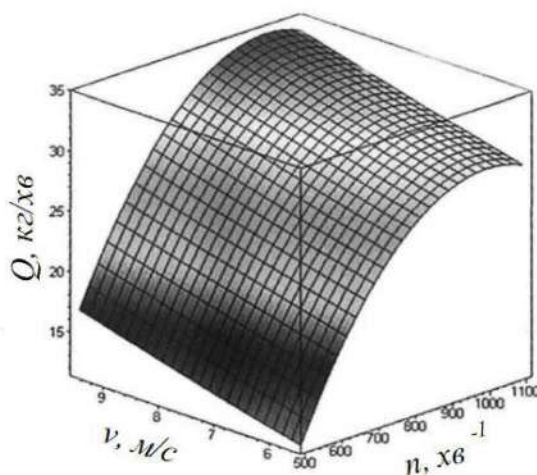


Рисунок 4.5 – Залежність продуктивності пневмогвинтової при транспортуванні зерна пшениці установки від частоти обертання шнека та швидкості повітря.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.5 Вплив режимних параметрів на показники роботи пневмогвинтової установки при роботі із зерном соняшника

В результаті проведених експериментів та обробки дослідних даних отримані залежності продуктивності зерна соняшника від режимних параметрів.

Отримані залежності для продуктивності установки від частоти обертання шнека, для соняшника представлені рисунку 4.6.

Рівняння регресії, що описують дані залежності, мають вигляд:

$$Q = 4E - 0,5n^2 + 0,0755n - 18,596, \text{ при } v=9,5 \text{ м/с} \quad (4.10)$$

$$Q = 3E - 0,5n^2 + 0,0618n - 14,241, \text{ при } v=7,5 \text{ м/с} \quad (4.11)$$

$$Q = 3E - 0,5n^2 + 0,0636n - 14,891, \text{ при } v=5,5 \text{ м/с} \quad (4.12)$$

$$Q = 4E - 0,5n^2 + 0,0817n - 25,352, \text{ при } v=0 \text{ м/с} \quad (4.13)$$

При транспортуванні насіння соняшнику вертикальним гвинтовим конвеєром без потоку повітря в заданому інтервалі частот обертання шнека, продуктивність є яскраво виражений максимум, після якого різко зменшується. При підключенні пневмо системи, при всіх швидкостях повітря і тій же частоті обертання, продуктивність зростає у всьому діапазоні, що розглядається.

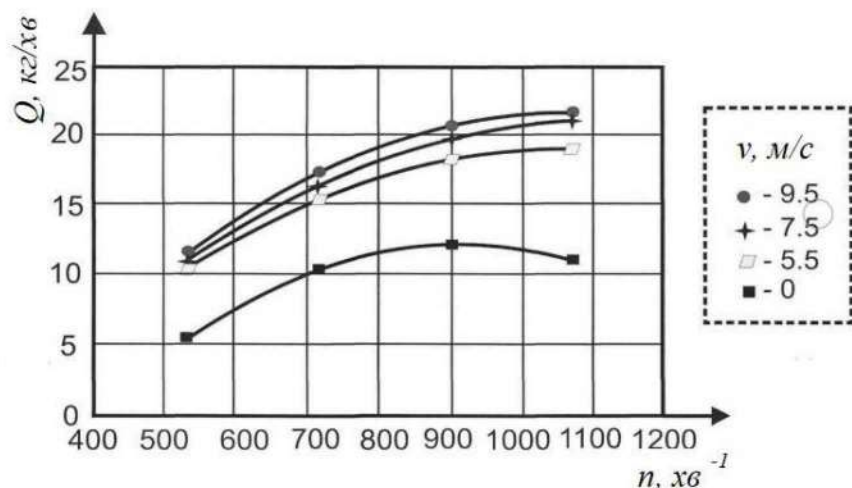


Рисунок 4.6 – Залежність продуктивності пневмогвинтової установки під час роботи з соняшником від частоти обертання гвинта за різних швидкостях повітря

Аналіз графічних залежностей продуктивності від частоти обертання шнека при порівнянні роботи пневмогвинтового конвеєра з гвинтовим показує, що основними рушійними силами в першій половині діапазону, що розглядається, є сили, що діють на зерно з боку шнека.

У другій половині діапазону частот обертання вплив сил від потоку повітря вирівнюється силами, що впливають від шнека, і продуктивність продовжує зростати, що не простежувалося при роботі звичайного гвинтового конвеєра.

При $n = 532 \text{ хв}^{-1}$ і швидкості повітря $5,5 \text{ м/с}$ спостерігається зростання продуктивності на 90% , в порівнянні з вертикальним гвинтовим конвеєром. При тій же частоті обертання та $v = 7,5$ про $v = 9,5 \text{ м/с}$, спостерігається підвищення продуктивності на 100% .

Зі зростанням частоти обертання до 727 і про $v = 5,5 \text{ м/с}$ продуктивність збільшується по відношенню до вертикального гвинтового конвеєра (при 727 хв^{-1}) на 47% , при $v = 7,5 \text{ хв}^{-1}$ – на 57% , при $v = 9,5 \text{ хв}^{-1}$, Q досягає збільшення на 66% . Відсоткове відношення при $n = 900$ ($v = 9,5$) виглядає наступним чином, при $v = 5,5 \text{ м/с}$, Q збільшується на 46% , при $v = 7,5 \text{ м/с}$ на 63% , при $v = 9,5 \text{ м/с}$ на 75% . При $n = 1076 \text{ хв}$, зростання продуктивності виглядає наступним чином, при $v = 5,5 \text{ м/с}$, Q збільшується на 72% , при $v = 7,5 \text{ м/с}$ на 90% , при $v = 9,5 \text{ м/с}$ на 95% . Узагальнені результати досліджень щодо збільшення продуктивності зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Узагальнені результати досліджень щодо збільшення продуктивності

Збільшення продуктивності - зерно соняшнику %				
$n \text{ хв}^{-1}$ $v \text{ м/с}$	532	727	900	1076
0	0	0	0	0
5,5	90	47	46	72
7,5	100	57	63	90
9,5	109	66	75	95

Зі збільшенням частоти обертання шнека з 532 до 727 хв^{-1} у гвинтовому конвеєрі, продуктивність зростає залежно від близької до прямопропорційної. При

збільшенні n до 1076 хв^{-1} спостерігається зростання продуктивності за квадратичною залежністю, а потім її зниження (рисунок 4.6).

Працюючи конвеєра з підключеною пневмосистемою, продуктивність зростає залежно близької до прямопропорційної у всьому діапазоні частот обертання. Зниження її немає. Максимумом є значення при $n = 950 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$ при всіх задаються поступальних швидкості повітря. Так як насіння соняшника має малу швидкість витання, то вплив сил від потоку повітря має значне місце вже в самому початку роботи, не дивлячись на великий опір витків шнека (складну трасу). Зі збільшенням вплив на насіння соняшнику шнеком зростає і в той же час підвищується вплив потоком повітря за рахунок зменшення опору. Це видно по відсутності яскраво вираженого максимуму у всьому заданому діапазоні частот обертання шнека. Стабілізація продуктивності, при великих n , говорить про те, що збільшення швидкості потоку повітря несучого насіння соняшника стає рівною або більше осьової швидкості шнека несе зерно і інтенсивність зростання продуктивності знижується.

Збільшення n з 532 до 727 хв^{-1} призводить до зміни Q при $v = 0 \text{ м/с}$ з $5,5$ до $10,5 \text{ кг/хв}$, при $v = 5,5 \text{ м/с}$ з $10,5$ до $15,5 \text{ кг/хв}$, при $v = 7,5 \text{ м/с}$ з 11 до $16,5 \text{ кг/хв}$, при $v = 9,5 \text{ м/с}$ з 11 до $17,5 \text{ кг/хв}$. У той час, коли частота обертання зростає до 900 хв^{-1} , продуктивність при $i = 0 \text{ м/с}$ змінюється з $10,5$ до 12 кг/хв , при $v = 5,5 \text{ м/с}$ з $15,5$ до $17,5 \text{ кг/хв}$, при $v = 7,5 \text{ м/с}$ з $16,5$ до $19,5 \text{ кг/хв}$, при $v = 9,5 \text{ м/с}$ з $17,5$ до 21 кг/хв , при $v = 5,5 \text{ м/с}$ з $17,5$ до 19 кг/хв , при $v = 7,5 \text{ м/с}$ з $19,5$ до 21 кг/хв , при та $v = 9,5 \text{ м/с}$ з 21 до $21,5 \text{ кг/хв}$.

Фрагменти досліджень продуктивності з використанням пневмосистеми при транспортуванні зерна соняшника наведено на рисунку 4.7.

Також проведено дослідження травмованості насіння соняшника при роботі гвинтового конвеєра та пневмогвинтової установки. В результаті обробки дослідних даних отримано залежності, що представлені на рисунку 4.8.

Рівняння регресії, для насіння соняшника, що описують залежність травмованості від частоти обертання шнека мають вигляд:

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f = 2E - 0,5n^2 - 0,0175n + 6,219, \text{ при } v = 0\text{м/с}, \quad (4.14)$$

$$f = 2E - 0,5n^2 - 0,0262n + 68,4235, \quad (4.15)$$

при $v = 5,5\text{м/с},$

$$f = 2E - 0,5n^2 - 0,0225n + 68,3198, \text{ при } \quad (4.16)$$

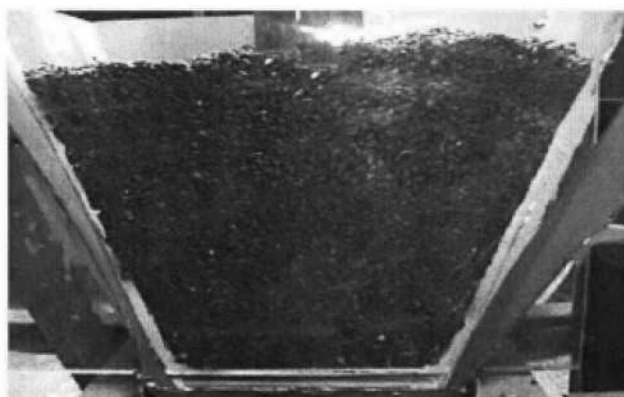
$v = 7,5\text{м/с},$

$$f = 2E - 0,5n^2 - 0,0255n + 8,4198, \text{ при } v = 9,5\text{м/с}. \quad (4.17)$$

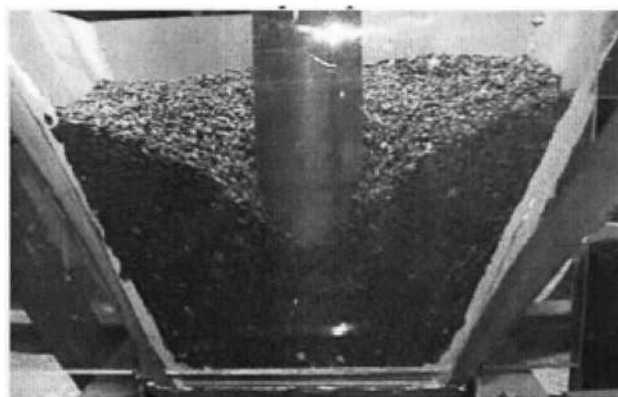
При транспортуванні насіння соняшника вертикальним гвинтовим конвеєром при $n = 532 \text{ хв}^{-1}$, травмованість досягає 2 %, що є допустимим для посівного матеріалу. Збільшення частоти обертання веде до підвищення травмованості. Зростання травмованості відбувається за квадратичною залежністю і за $n = 1076 \text{ хв}^{-1}$ досягає 8 %. Подача повітря зі швидкістю потоку 5,5 м/с при $n = 532 \text{ хв}^{-1}$ знижує травму до 1,3 % (до загальної маси). При збільшенні частоти обертання шнека травмованість досягає 2 % при 715...720 хв^{-1} і продовжує різко зростати по квадратичній залежності. Коли частота обертання шнека досягає 900 хв^{-1} f доходить до 4,3 % і зростає до 8,1 % зі збільшенням частоти обертання до 1076 хв^{-1} . При подачі потоку повітря зі швидкістю, що дорівнює 7,5 і 9,5 м/с, травмованість так само починає зростати і досягає 2 %, у першому випадку при 700...705 хв^{-1} , у другому при 690...695 хв^{-1} .

Робота гвинтового транспортер $n = 532 \text{ хв}^{-1}$

ввімкнення



20 секунд роботи



40 секунд роботи

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

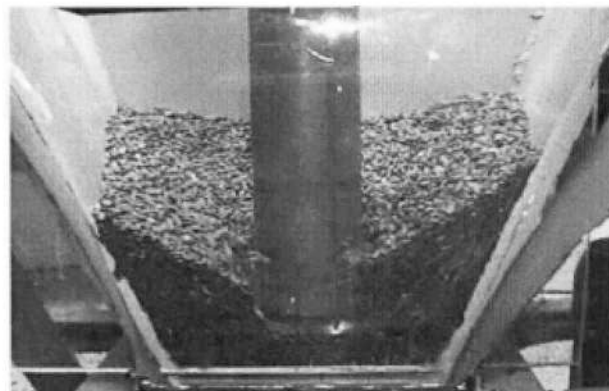
КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ

Аркуш

59



Робота пневмогвинтового транспортера $n = 532 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5 \text{ м/с}$
 ввімкнення 20 секунд роботи



40 секунд роботи

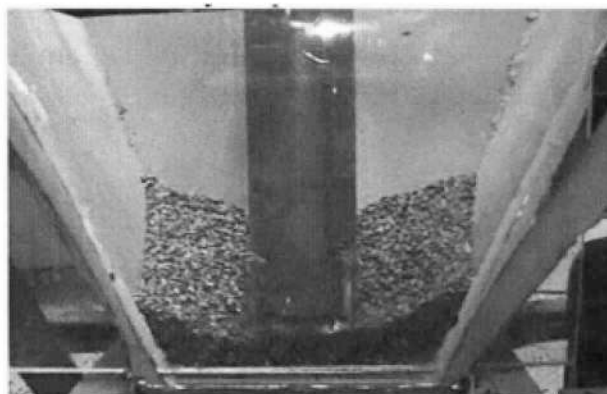


Рисунок 4.7 – Робота гвинтового та пневмогвинтового транспортера із зерном соняшника протягом однакового періоду часу.

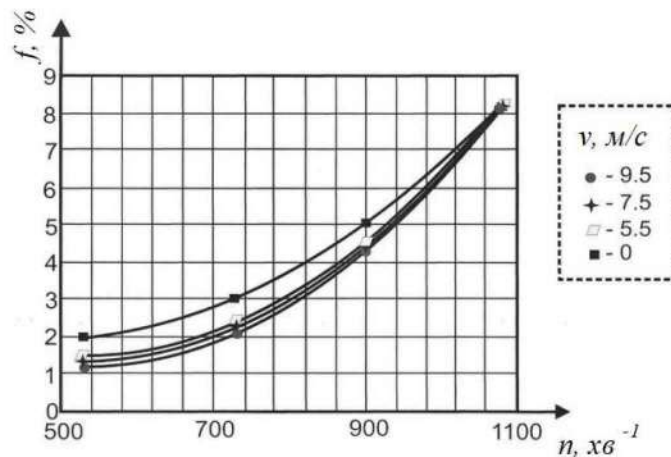


Рисунок 4.8 – Залежність травмованості насіння соняшника, що транспортується, від частоти обертання гвинта при різних швидкостях повітря

Аналіз отриманих даних продуктивності та травмованості насіння соняшнику при транспортуванні дозволяє знайти оптимальні режимні параметри роботи пневмогвинтового конвеєра. У заданих параметрах, максимальну продуктивність конвеєр досягає при швидкості повітря 9,5 м/с і $n = 1076 \text{ хв}^{-1}$. Даний максимум за продуктивністю обмежується травмованого насіння. оптимальні показники конвеєра для посівного матеріалу (рисунок 4.9) з допускається травмованого насіння соняшника 2 %: $v = 9,5 \text{ м/с}$; $n = 715 \text{ хв}^{-1}$; $Q = 17 \text{ кг/хв}$.

4.6 Продуктивність пневмогвинтового конвеєра при транспортуванні соняшника

При роботі пневмогвинтового конвеєра оптимальною є умова рівності продуктивностей роботи шнека $Q_{\text{вин}}$ і пневмосистеми $Q_{\text{пн}}$, проте, практично виконати цю умову складно.

Проведені експериментальні дослідження з соняшником дозволили виявити характер зміни продуктивності при різних поєднаннях $Q_{\text{вин}}$ і $Q_{\text{пн}}$. За отриманими даними було побудовано рівняння регресії, що достовірно описує характер зміни:

$$Q = 0,0723n - 3,6 \cdot 10^{-5} n^2 + 0,06184v^2 + 1,401v - 23,93 \quad (4.18)$$

де n – частота обертання шнека хв^{-1} ;

v – швидкість повітря на виході м/с .

Графічно рівняння може бути представлене у формі поверхні відгуку (рисунок 4.10).

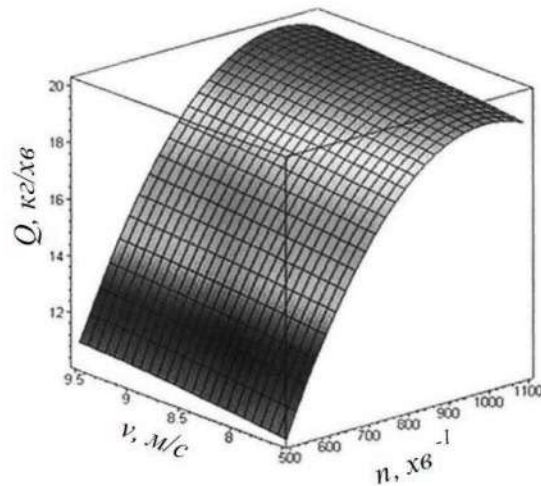


Рисунок 4.10 – Залежність продуктивності пневмогвинтового транспортера від частоти обертання шнека та швидкості повітря

Інтерпретація поверхні відгуку дозволяє провести аналіз результатів досліджень. Зі зростанням частоти обертання шнека продуктивність вертикального пневмогвинтового конвеєра зростає до певного значення, за яким починає знижуватися. Зі збільшенням швидкості повітря спостерігається також зростання продуктивності, але менш інтенсивний і загасаючий.

Аналіз поверхні відгуку показує, що з підвищенням частоти обертання продуктивність конвеєра збільшується. Зростання продуктивності відбувається в межах $Q_{вин} > Q_{пн}$, до певного значення n , у якому $Q_{вин} = Q_{пн}$. Подальше збільшення частоти обертання не призводить до збільшення продуктивності пневмогвинтового конвеєра, так як швидкість частинки рухається під дією сил потоку повітря, стають більше швидкості частинки, що переміщається за рахунок осьової рушійної сили шнека і шнек починає перешкоджати пересуванню матеріалу. Такий характер зміни найбільш наочно проявляється при $n=1080 \text{ хв}^{-1}$ і вище зі зростанням v від 5,5 до 9,5

м/с. Подальше збільшення швидкості повітря веде до того, що насіння соняшника переміщується тільки за рахунок потоку повітря і робота шнека стає не ефективною.

Таким чином, для отримання найкращої продуктивності необхідно збільшувати частоту обертання шнека n , але вона не довше виходити за межі умови $Q_{вин} \geq Q_{тн}$.

4.7 Результати вимірювань потужності пневмогвинтового конвеєра

Сумарна потужність N_{Σ} пневмогвинтового конвеєра складається з потужності, що споживається шнеком $N_{ш}$ Вт, і потужності, що споживається пневмосистемою (вентилятором) $N_{п}$ Вт

$$N_{\Sigma} = N_{ш} + N_{п}. \quad (4.19)$$

Реєструвальна апаратура експериментальної установки дозволяла виміряти силу струму I і напруга U у будь-який момент часу протікання робочого процесу як для шнека, так і вентилятора (рисунок 3.10, 3.11). Споживана потужність $N_{ш}$, $N_{п}$ визначалася за виразом

$$N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \gamma, \quad (4.20)$$

де $\cos \gamma$ – коефіцієнт потужності.

Результати вимірювань та розрахунків зведені у таблиці 4.5, 4.6.

При порівнянні отриманих даних видно, що пневмогвинтовий конвеєр має потужність на 42 % більше, ніж гвинтовий конвеєр. Таблиця 4.5 – Результати експериментальних досліджень пневмовинтового конвеєра

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення (шнек)	Значення (пневматика)
Напруга	U , В	В	360	360
Сила струму	I , А	А	2,2	1,9
Коефіцієнт потужності	$\cos \gamma$	-	0,83	0,8
Потужність	N , Вт	Вт	925	825
Загальна потужність	N_{Σ} , Вт	Вт	1750	

При розробці, основними показниками, що визначають ефективність конвеєра були прийняті продуктивність транспортера і травмованість транспортованого зерна, що в результаті перекриває витрати на потужність.

Таблиця 4.6 – Результати експериментальних досліджень вертикального гвинтового конвеєра

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення (шнек)
Напруга	$U, \text{В}$	В	360
Сила струму	$I, \text{А}$	А	2,4
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	-	0,83
Потужність	$N, \text{Вт}$	Вт	1010

4.8 Результати виробничих випробувань

Пропонований пневмогвинтовий конвеєр мав конструктивні параметри, встановлені теоретичними положеннями та експериментальними дослідженнями (таблиця 4.7).

Привідні механізми конвеєра забезпечували встановлене лабораторним експериментом оптимальне співвідношення між частотою обертання шнека і швидкістю повітря, що подається пневмосистемою.

Основними показниками, що визначають ефективність вертикального пневмогвинтового конвеєра під час випробування були прийняті продуктивність і травмованість зерна.

Результати випробувань наведено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.7 – Параметри виробничого зразка вертикального пневмогвинтового конвеєра

Найменування параметра	Позначення	Значення
Діаметра шнека, м	$D_{вин}$	0,15
Діаметр валу, м	$d_{вал}$	0,04
Діаметр кожуха (внутрішній), м	$D_{кож}$	0,156
Висота підйому, м	$h_{під}$	5
Крок шнека, м	S	0,15
Кут нахилу гвинтової лінії, °	β	45

Параметри пневмокамери довжина, ширина, висота, м:	$L_{II} \times B \times h_n$	1,5x1,5x1,2
Маса транспортера, кг	m_{mp}	230

Таблиця 4.8 – Результати виробничих випробувань

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Шнек	Пневматика
Напруга	$U, В$	В	360	360
Сила струму	$I, А$	А	2,4	1,9
Коефіцієнт потужності	$\cos\gamma$	-	0,83	0,8
Потужність	$N, Вт$	Вт	1010	825
Загальна потужність	$N_{\Sigma}, Вт$	Вт	1850	

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

В Україні виникають щорічно тисячі важких надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в наслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами обстановка характеризується як дуже складна.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці [26].

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.1 Вимоги безпеки під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт із зерном та іншими сипучими продуктами

Вантажно-розвантажувальні роботи із зерном, продуктами його переробки та тарними вантажами виконують механізованим способом за допомогою підйомно-транспортного устаткування та засобів малої механізації відповідно до вимог «Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт», затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19 січня 2015 року № 21, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 03 лютого 2015 року за № 124/26569 [27].

Основні вимоги при вантажно-розвантажувальних роботах: - місця де виконуються роботи розвантаження повинні бути облаштовані знаками безпеки; - після проведення вантажно-розвантажувальних робіт з мікродобавками, преміксами, комбікормами та комбікормовою сировиною працівники приймають душ та переодягаються у чистий одяг; - рух транспортних засобів у місцях ведення вантажно-розвантажувальних робіт здійснюється за транспортно-технологічною схемою з установленням відповідних дорожніх знаків, а також знаків, прийнятих на залізниці, водному та автомобільному транспорті; - накатування, підйом та встановлення транспортних механізмів здійснюються за допомогою лебідок або вручну по похилій площині з міцно приєднаними східцями, ширина проходу для працівників має бути не менше 0,75 м з кожного боку; - транспортер-вагонорозвантажувач, на якому встановлена крильчатка, повинен мати упор для унеможливлення самоперевертання.

5.2 Екологічна експертиза

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність та планованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки [28].

Відносини в галузі екологічної експертизи регулюються Законом України «Про екологічну експертизу» (9.02.95р.).

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності; 2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи; 3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил; 4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів; 5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей; 6)

					KPM.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи [27, 28].

5.3 Економічна ефективність

Розрахунок економічної ефективності проводився для пневмогвинтового конвеєра в порівнянні з існуючим гвинтовим конвеєром.

Очікувана економічна ефективність визначена за існуючою методикою [29].

Річна нормативна завантаження визначається виходячи з річного обсягу робіт B , а продуктивності машини Π , при використанні конвеєра на тому самому підприємстві, обсяг робіт однаковий:

$$T_{\Pi} = \frac{B}{\Pi}. \quad (5.1)$$

Витрати праці (H) залежать від продуктивності машини і визначається за виразом:

$$H = \frac{L}{\Pi}, \quad (5.2)$$

де L – обслуговуючий персонал, чол.

Витрати із заробітної плати $З_B$ залежать від тарифної ставки оператора $З_q$, кількості операторів L та продуктивності машини Π і визначається за формулою:

$$З_B = \frac{L \cdot З_q}{\Pi}. \quad (5.3)$$

Питома витрата електроенергії P_r розраховується:

$$P_r = \frac{q_q}{\Pi}, \quad (5.4)$$

де q_q – витрата електроенергії за 1 годину, кВт/год,
звідки вартість електроенергії розраховується

$$\Gamma = \Pi_{\Gamma} \cdot P_{\Gamma}, \quad (5.5)$$

де Π_{Γ} – комплексна ціна за 1 кВт електроенергії.

Амортизаційні відрахування на пневмогвинтовий транспортер та відрахування на технічне обслуговування визначаються за виразом:

$$A_{TO} = \frac{C \cdot a}{100 \cdot B}, \quad (5.3)$$

де a – норма амортизаційних відрахувань та відрахувань за ТО.

Прямі витрати Π_B визначаються сумою витрат на заробітну плату, вартість електроенергії та амортизаційні відрахування:

$$\Pi_B = Z_B + \Gamma + A_{TO}, \quad (5.5)$$

Зниження прямих витрат

$$Z_B = \frac{\Pi_{31} - \Pi_{32}}{\Pi_{31}} \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

Наведені капіталовкладення

$$\Pi_{KB} = \frac{C \cdot E_H}{B \cdot \Pi}, \quad (5.7)$$

де E_H – коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E = 0,15$.

Наведені витрати Π_{PP} визначаються сумою капіталовкладень Π_{KB} та прямих витрат Π_3

$$\Pi_{PP} = \Pi_3 + \Pi_{KB}. \quad (5.8)$$

Зниження наведених витрат

$$\frac{\Pi_{PP1} - \Pi_{PP2}}{\Pi_{PP1}} \cdot 100\%. \quad (5.9)$$

Очікуваний річний економічний ефект

$$E_p = (\Pi_{PP1} - \Pi_{PP2}) \cdot B, \quad (5.10)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень визначається:

$$T_{ок} = \frac{C}{E_p}, \quad (5.11)$$

Розрахунки за пропонованим пневмогвинтовим конвеєром зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок економічної ефективності пневмогвинтового конвеєра під час транспортування зерна пшениці

Економічні параметри	Позначення	Базовий варіант	Новий варіант
Продуктивність за годину чистого часу, т/год	P	5,7	9,0
Річна нормативна завантаження, год	T_p	800	800
Річний обсяг робіт, т	B	4560	7200
Обслуговуючий персонал, особи	L	1	1
Витрати праці чол.	H	0,18	0,11
Зниження трудомісткості, %		-	0,39
Часова тарифна ставка механіка	z_q	20	20
Витрата електроенергії, кВт/год	q	1,01	1,84
Питома витрата електроенергії, кВт/год	P_r	0,18	0,20
Зниження прямих витрат, %		-	0,33
Зниження наведених затрат		-	32
Термін окупності додаткових капіталовкладень,	$T_{ок}$	-	1,2

При використанні вертикального пневмогвинтового конвеєра в порівнянні з існуючим вертикальним гвинтовим конвеєром при транспортуванні зерна був отриманий річний економічний ефект у цінах на 01.09.2022року, термін окупності додаткових капіталовкладень складе 1,2.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу літературних джерел, патентного пошуку та виробничого досвіду встановлено, що гвинтові конвеєри, що застосовуються в сільському господарстві, для вертикального транспортування зерна мають не достатню продуктивність. З іншого боку, у процесі транспортування травмується до 10% зерна.

2. Розроблено нову конструктивно-технологічну схему пневмогвинтового конвеєра для вертикального транспортування зернових матеріалів (рисунок 2.1), що дозволяє підвищити продуктивність і зменшити травмованість зерна за рахунок поєднання процесів транспортування шнеком.

3. Теоретичні дослідження робочого процесу дозволили отримати:

- систему рівнянь (2.27), що описує перебіг в'язкого газу в криво-лінійному каналі (рисунок 2.6), стосовно пневмогвинтового транспортера;
- чисельні результати у вигляді картини перебігу та зміни параметрів швидкості, тиску в каналі шнека транспортера, що свідчать про те, що на відстані 2,0-2,5 витків шнека, течії стають такими, що повністю встановлюються і зберігаються постійними і незмінними до виходу зерна із каналу шнека;
- встановити, що найбільший вплив на показники робочого процесу надають режимні параметри: частота обертання шнека та швидкість повітря (вирази 2.112);
- аналітичні вирази визначення: частоти обертання шнека з урахуванням дії повітря (2.76); масової продуктивності установки (2.99) і потужності (2.100, 2.102).

4. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено вплив частоти обертання шнека та швидкості повітря на продуктивність і травмованість зерна. Встановлено оптимальні параметри пневмовинтового транспортера, при травмуванні 2 %:

- Для зерна пшениці $n = 690...750 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5...7,5 \text{ м/с}$;
- Для зерна соняшника $n = 630...730 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5...9,5 \text{ м/с}$;
- Для зерна проса $n = 1000...1100 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5...9,5 \text{ м/с}$.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При травмуванні 5 %:

- Для зерна пшениці $n = 1000 \dots 1100 \text{ хв}^{-1}$, $v = 5,5 \dots 9,5 \text{ м/с}$.

Продуктивність при транспортуванні зерна збільшується на 40-50 %, травмованість зерна, що транспортується, знижується на 20-35 %;

5. Виробничі випробування проведено на 3 видах зерна. Результати випробувань дозволили встановити продуктивність вертикального пневмогвинтового транспортера:

- при транспортуванні зерна пшениці 7,5 т/год (при травмованості 2%), 9 т/год (при 5 %),
- при транспортуванні зерна соняшника 6,3 т/год (при 2 %),
- при транспортуванні зерна проса 14,8 т/год (2 %).
- термін окупності додаткових капіталовкладень складе 1,2 року.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		