

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів та дослідження конструктивно-технологічної схеми пневмоспірального конвеєра

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Тимченко Дмитро Олександрович

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____

(назва кафедри)

доцент _____

(вчене звання)

Теслюк Г.В. _____

(підпис)

(прізвище,
ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

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

Тимченку Дмитру Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та дослідження конструктивно-технологічної схеми пневмоспирального конвеєра

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. 3. Результати досліджень 4. Охорона праці 5. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконав

Студент

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тимченко Д.О. Обґрунтуванням параметрів та дослідження конструктивно-технологічної схеми пневмоспірального конвеєра / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

1. Представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.
2. Обґрунтовано модель функціонування кулачкового конвейєра-очищувача при збільшеній кутовій швидкості обертання кулачків
3. Представлено програму та методику експериментальних досліджень та аналіз результатів математичного моделювання процесу
4. Аналіз стану охорони праці.
5. Виконано розрахунок показників техніко-економічних.

Машинописного тексту____, малюнків____, таблиць____, містить джерел використаної літератури_____ і має графічної частини____ листів

Тимченко Д.О. Способи очистки зернових матеріалів / Д.О. Тимченко
// The 12th International scientific and practical conference «European congress of scientific discovery» (11,10-12,2025), Madrid, Spain. 50-54p

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Застосування спіральних конвеєрів у виробництві.....	10
1.2. Класифікація спіральних конвеєрів.....	19
1.3. Принципова схема роботи спіральних конвеєрів.....	23
1.4. Аналіз існуючих досліджень спіральних конвеєрів.....	25
1.5. Застосування в сільськогосподарському виробництві пневмотранспортних установок, оснащених шнеками.....	27
Висновки.....	34
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМОСПІРАЛЬНОГО КОНВЕЄРА.....	35
2.1. Конструктивно-технологічна схема пневмоспірального конвеєра.....	35
2.2. Основні параметри пневмоспірального конвеєра.....	38
2.3. Дослідження динамічних течій в спіраль-но-транспортуючому робочому органі пневмоспірального конвеєра.....	40
2.4. Диференційне рівняння руху часток сипкого матеріалу.....	47
2.5. Потужність, необхідна для приводу пневмоспірального конвеєра при транспортуванні зерна	61
Висновки.....	66
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	68
3.1. Методика досліджень фізико-механічних властивостей зерна пшениці, проса, гороху.....	68
3.2. Фізико-механічні властивості вантажів.....	69
3.3. Результати досліджень впливу режимних параметрів на показники роботи пневмоспіральної установки	70
3.4. Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспіральної установки при транспортуванні зерна пшениці.....	70

3.5. Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспиральної установки при транспортуванні зерна проса.....	76
3.6. Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспиральної установки при транспортуванні зерна гороху.....	82
3.7. Вплив зміни довжини гнучкого спірального шнека на продуктивність	88
Висновки.....	90
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	92
Висновки	94
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА.....	96
Висновки	99
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	102
ДОДАТКИ.....	105

ВСТУП

При виробництві зерна значна доля робіт доводиться на його транспортування. При врожайності зернових 22,7 ц/га з кожної тисячі гектарів на струм переміщається близько 2500 т зерна. Деякі технологічні схеми передбачають три вантаження і більше не лише при переміщенні зернової маси на струмі і в зерносховищі, але і в транспортні засоби для доставки споживачеві.

Нині сільськогосподарським підприємствам для механізації навантажувально-розвантажувальних робіт при переміщенні зернових культур пропонується немало конвеєрів різного типу. Серед цієї різноманітності техніки все більшого поширення набувають спіральні конвеєри завдяки їх малій масі, простоті конструкції і невисокої вартості. Надійність і нескладний пристрій робить їх альтернативою такому устаткуванню як скребкові і гвинтові транспортери. Проте усі ці конструкції не забезпечують можливість перекидання зерна на великі відстані по просторовій трасі або ускладнюють технологічну схему. У більшості спіральних конвеєрів не передбачена зміна відстані і траєкторії пересування матеріалу. Крім того при роботі з ними під час вантаження безпосередньо з бурту потрібно ручну працю або додаткову техніку.

При захопленні зерна з насипу зі збільшенням частоти обертання спіралі відбувається його розкидання, а усередині кожуха створюється опір осьовому переміщенню. В результаті надмірного перемішування матеріалу і провертання зерна усередині пружинного шнека. У зв'язку з цим була досягнута межа збільшення продуктивності при існуючому принципі транспортування. Тому виникає потреба в розробці нових конвеєрів, параметри яких не лише відповідатимуть фізико-механічним властивостям зерна, але також дозволять підвищити продуктивність і з мінімальними ресурсними витратами якісно здійснювати транспортування.

Таким чином впровадження у виробничий процес спіральних конвеєрів нового типу, поєднаних з пневмосистемою, що дозволяють переміщати зерновий матеріал в просторі на будь-які відстані безпосередньо з бурту при необхідній продуктивності, є актуальним завданням. Виникає необхідність розробки

конструктивно-технологічної схеми і обґрунтування параметрів пневмоспірального конвеєра для транспортування зерна по просторовій трасі, зручної в обслуговуванні і такої, що забезпечує мінімальні витрати праці.

Мета дослідження. Підвищення ефективності процесу транспортування зерна шляхом обґрунтування параметрів і режимів роботи пневмоспірального конвеєра.

Завдання дослідження:

- на основі проведеного аналізу літературних і патентних джерел виявити недоліки спіральних конвеєрів (гнучких шнеків) і намітити шляхи їх усунення, розробити класифікацію конвеєрів цього типу, обґрунтувати конструктивно-технологічну схему пропонованого пневмоспірального конвеєра;
- досліджувати процес транспортування зерна пневмоспіральним конвеєром і отримати аналітичні вирази для визначення його режимних параметрів, продуктивності і потужності.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес захоплення і транспортування зерна пневмоспіральним конвеєром.

Предмет дослідження. Закономірності зміни продуктивності і потужності пневмоспірального конвеєра в процесі транспортування зерна від його конструктивних і режимних параметрів і тиску повітряного потоку.

Наукова новизна роботи полягає в розробці і дослідженні робочого процесу пневмоспірального конвеєра, захищеного патентом на корисну модель, транспортування, що поєднує принципи, спіраллю і повітряним потоком; отриманні аналітичних і залежностей продуктивності і загальної потужності приводу від режимних параметрів; теоретичному і експериментальному обґрунтуванні параметрів пропонованого пневмоспірального конвеєра.

1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Застосування спіральних конвеєрів у виробництві

Ідея переміщення матеріалу гнучкими спіральними транспортуючими органами виникла порівняно недавно. Належить вона Г. Плюсту і Ф. Аренсу, що отримав в 1928 р. патент на вказаний вид гвинтового конвеєра для переміщення цементних і бетонних сумішей. Ширші дослідження і застосування спіральних конвеєрів в нашій країні були розпочаті з 1960-х років.

Перелік матеріалів, що транспортуються спіральними шнеками, різноманітний: борошно, зерно, висівки, макуха, в'язкі рідини, добрива, корма, солод, цукор, сіль, крупа, спеції. Спіралі виступають робочим органом у багатьох конструкціях сільськогосподарських машин для рослинництва і тваринництва.

Переваги спіральних конвеєрів:

- можливість подавати продукт по нахилах і вигинах різних напрямів, включаючи вертикальний підйом;
- відсутність застійних зон при транспортуванні;
- безшумність і відсутність пилу при роботі транспортера;
- можливість завантаження декількох стаціонарних місткостей одним конвеєром;
- простий монтаж, довгий термін служби і безпека експлуатації.

За допомогою спіральних транспортуючих робітників органів можна проводити декілька технологічних операцій, наприклад транспортування і роздачу сипких кормів. Розроблений ряд технічних засобів із спіральним робітником органом для рослинництва і тваринництва, післяжнивної обробки сільськогосподарських матеріалів, а також їх переробки.

На рис. 1.1. приведена принципова схема впровадженого у виробництво роздавальника-годовниці для відгодівельної групи свиней, що дозволяє одночасно і рівномірно розподіляти комбікорм по довжині 30 м. Кожухом служить металева труба діаметром 38 мм. Загальну норму роздачі встановлюють

згідно з раціоном годування регулюванням висоти розташування кожуха по відношенню до дна дерев'яних годівниць. Роздавальник працює за схемою «від приводу». Додаткове регулювання здійснюється зміною кількості випускних отворів (перекриттям їх через певну відстань від приводу).

Для внесення рідких комплексних добрив застосовують агрегат із спіралью-транспортуєчим робочим органом і поворотними штангами (рис. 1.3). Він забезпечений пристроєм, який переводить спіральний робочий орган в транспортне положення поворотом штанг на шарнірах, що дозволяють частину довжини штанги розташовувати ззаду від опорних коліс місткості. Швидке від'єднання здійснюється спеціальним штифтовим з'єднанням осей приводу правої і лівої робочих спіралей. Спіральний шнек рівномірно розподіляє ЖКУ при внесенні в ґрунт за схемою «від приводу».

Для перевезення і зберігання насіння пропонувався контейнер-бункер механізований (рис. 1.4). Його перевозять автомобільним або тракторним транспортом відповідної вантажопідйомності і при постачанні складських приміщень перевантажувачем використовують для тривалого зберігання насіння. Конструктивне оформлення вивантажного пристрою дозволяє здійснювати активне вентилявання насіння. Заміна електроприводу на гідромотор і подовження вивантажного транспортера дозволяють завантажувати посівні агрегати в польових умовах. Недоліком контейнера є необхідність використання додаткового навантажувача для завантаження.

Економічно ефективні транспортуєчі пристрої з кожухом, що обертається, і спіральні зернонавантажувачі, використовувані в технологічних процесах післяжнивної обробки зерна і насіння трав, що забезпечують дозоване подання матеріалу до очисних і сортувальних машин згідно їх пропускної спроможності і компоновальної схеми лінії (рис. 1.5). Переміщення зерна здійснюється за схемою «від приводу». Зміна траси транспортування припускає систему з декількох навантажувачів. Також істотним недоліком є те, що навантажувач необхідно завантажувати вручну або за допомогою додаткової техніки.

Конвеєр пропонує безстрижневі спіральні конвеєрні системи для

транспортування сипких і інших матеріалів і продуктів, а також дозатори на їх основі (рис. 1.6). Допустимі різні варіанти компонування і комплектації цих транспортуючих систем, що вирішує проблеми транспортування і дозування таких матеріалів, як зерно, крупа, борошно, спеції, солод, цукор, сіль, гранули, і т. п. Проте переміщати продукцію на великі відстані при роботі «до приводу» дозволяють системи з декількох конвєсерів, оскільки їх довжина обмежена.

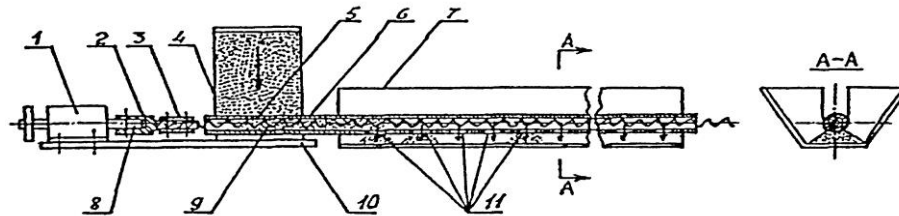


Рисунок 1.1 - Роздавальник-годівниця для свиней: 1 - привід; 2 - сполучна втулка; 3 - накладки кріплення пружин; 4 - бункер; 5 - входні шпари; 6 - кожух; 7 - годівниця; 8 - вал; 9 - пружина; 10 - рама; 11 - випускні отвори

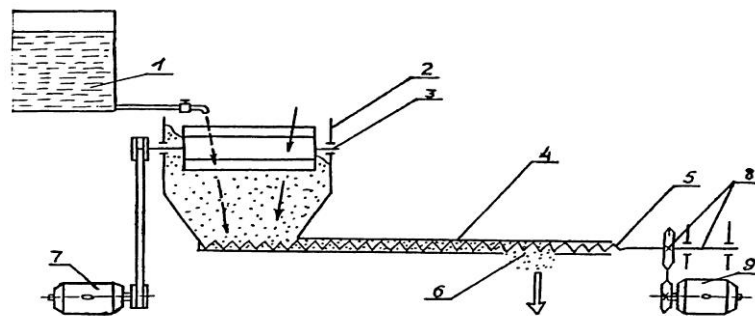


Рисунок 1.2 - Схема облаштування для гідрофобізації насіння кукурудзи: 1 - бак для розчину; 2 - підшипники; 3 - мішалка; 4 - поліетиленовий кожух; 5 - пружина; 6 - вивантажний отвір; 7, 9 - електродвигуни; 8 - приводні пристрої

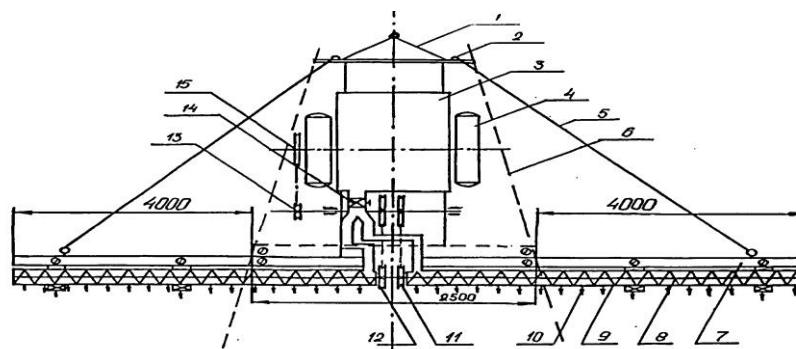


Рисунок 1.3 - Загальний вигляд агрегату із спіралью-транспортуючим робітником органом для внесення ЖКУ в ґрунт: 1 - дишло; 2 - крюк; 3 - місткість; 4 - колесо опорне; 5 - трос; 6 - штанга в транспортному положенні; 7 - штанга; 8 - спіраль; 10 - висівні отвори; 11, 12 - зірочки; 13, 15 - зірочки контрвалу і колеса; 14 - клапан відсікання.

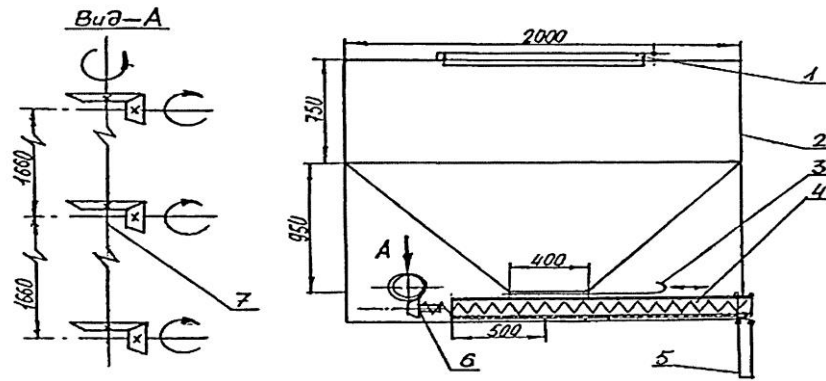


Рисунок 1.4. Контейнер - бункер механізований КБМА-1 (вигляд ззаду): 1 - люк; 2 - рама; 3- заслінка; 4 - вивантажний пристрій; 5 - лоток; 6 - привід; 7 - трансмісія

Залежно від індивідуальних особливостей виробництва створюється варіант компонування системи, що припускає роботу з декількома приводами. Подання матеріалу в систему робиться або спеціальним навантажувачем, або вручну.

У 2003 р. на український ринок вийшла компанія «Європейські транспортні системи» як діловий партнер Австрійської компанії Wildfellner GmbH. Вона випускає системи транспортування різних матеріалів, у тому числі спіральні транспортери з безосьовимиспіралями. Це устаткування дозволяє здійснювати транспортування сипких вантажів з кутом підйому від 0 до 90 град з продуктивністю до 150 м³/год.

Транспортні системи типу СТ з гнучкою спіраллю, що несе, діаметрами від 55 до 125 мм (малюнок 1.7 і 1.8). Призначені для транспортування сипких продуктів з насипною масою в 1 м³ до 1100 кг. Продуктивність конвеєрів СТ від 0,3 до 20 м³/год. Вони дозволяють транспортувати по вигинах і нахилах, включаючи вертикальний підйом. Для збільшення довжини переміщення матеріалу можливе виготовлення транспортуючих систем з декількох послідовно працюючих машин. Конвеєри працюють за схемами «до приводу» і «від приводу».

Транспортні системи Типу РТ мають жорстку спіраль (рис. 1.9), що несе, діаметром від 90 до 450 мм. Призначені для транспортування практично будь-

яких продуктів з необмеженими насипною масою і розмірами, а також абразивних матеріалів. Робота конвеєра - «від приводу». Продуктивність від 0,5 до 300 м³/год. Транспортування може відбуватися при кутах нахилу від 0 до 45 град, при роботі з двома приводами кут необмежений (до вертикального). Системи працюють тільки по прямій в одній площині, і регулюється лише кут нахилу.

До недоліків вищеназваних систем відноситься те, що вони стаціонарні; незважаючи на гнучкість спіралі, що несе, розташування траси в просторі вирішується поєднанням декількох конвеєрів; подання матеріалу в систему робиться згори спеціальним навантажувачем або вручну, оскільки наявність завантажувального модуля робить неможливим самостійне завантаження.

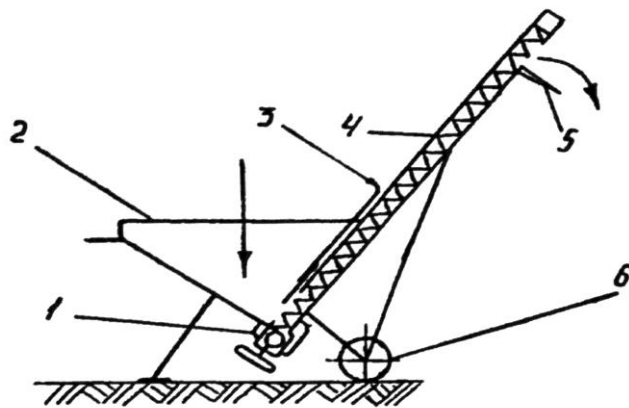


Рисунок 1.5 - Спіральний зернонавантажувач: 1 - привід; 2 - бункер; 3 - заслінка; 4 - пружина; 5 - лоток; 6 - колесо опорне

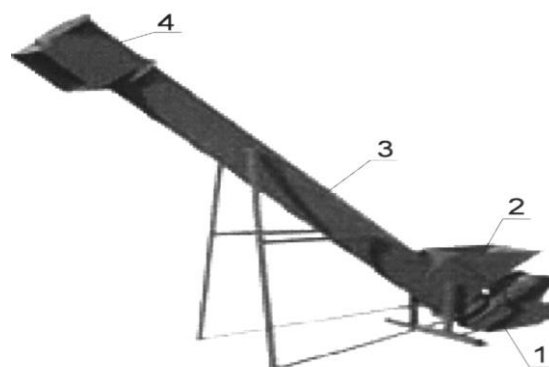


Рисунок 1.6 - Безстрижневі спіральні конвеєрні системи: 1 - привід; 2 - завантажувальний модуль; 3 - кожух; 4 - розвантажувальний модуль.

Спіральний конвеєр (рис. 1.10) призначений для транспортування борошна і інших сипких продуктів (зерно, висівки і т. д.) на відстань до 12 м і висота до 10 м. Його продуктивність невисока - до 1800 кг/год і частота обертання спіралі 375 хв^{-1} . Завантажувальний пристрій з мотором-редуктором комплектується обрушувачем зведення. Для подання матеріалу в конвеєр потрібна додаткова техніка, переміщення робиться за схемою «від приводу».

Широко використовуються і інші спіральні конвеєри. Так, наприклад, гнучкий спірально-гвинтовий конвеєр виробництва компанії Helix Harman (рис. 1.11) одне з найбільш простих і ефективних рішень для пересування сипких матеріалів. Цей спірально-гвинтовий конвеєр є пілостійкою системою, що працює за схемою «від приводу», і поставляється з основою, що розширюється, для під'єднання до устаткування або завантажувальної воронки. Останні також можна під'єднати безпосередньо до устаткування для захисту від пилу. У них можуть бути включені установки по растариванню мішків з контролем пилу, змішувачі, датчики рівня, панелі контролю і управління. Але ці конвеєри не можуть транспортувати зерно відразу з насипу, що робить їх залежними від додаткового навантажувача. Компанія випускає п'ять конфігурацій спіральних елементів. Їх конвеєри працюють як переносними, так і автономними пристроями або є одним з основних компонентів системи. Проте транспортування обмежене в просторі розміром корпусу, оскільки вони працюють тільки по прямій в одній площині, регулюється лише кут нахилу. Довжину, на яку переміщають матеріал, змінюють поєднанням декількох конвеєрів в технологічну лінію.

Машинобудівне підприємство «ТЕХПРИБОР» розробляє і робить спіральний гнучкий шнек моделі «ГШ-50», який можна розташовувати по складній траєкторії в просторі. Гнучкий шнек «ГШ-50» (рис. 1.12) призначений для транспортування сипких, порошкоподібних, дрібнозернистих, гранульованих матеріалів.

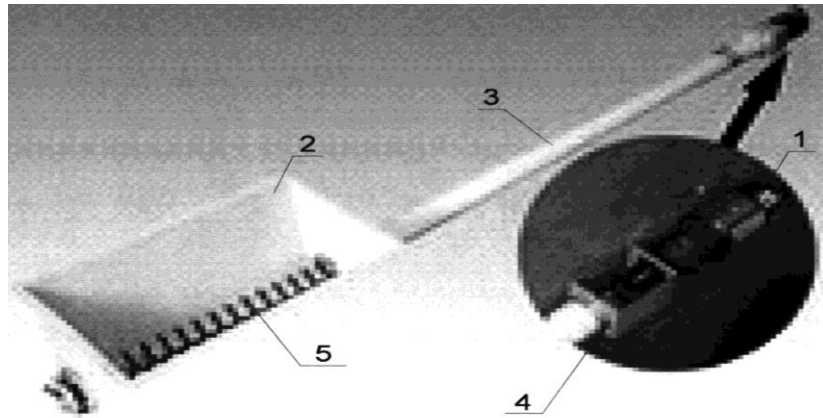


Рисунок 1.7 - Прямі транспортні системи типу СТ-II гнучкою спіраллю, що несе: 1 - електродвигун; 2 - завантажувальне вікно; 3 - корпус; 4 - розвантажувальне вікно; 5 - спіральний шнек

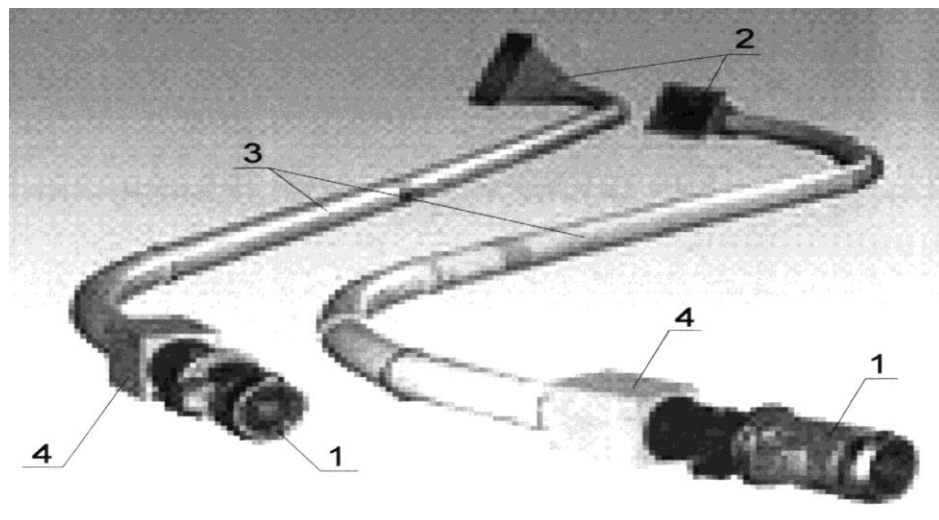


Рисунок 1.8 - Похилі транспортні системи типу СТ-N гнучкою спіраллю, що несе: 1 - електродвигун; 2 - завантажувальний модуль; 3 - корпус; 4 - розвантажувальний модуль

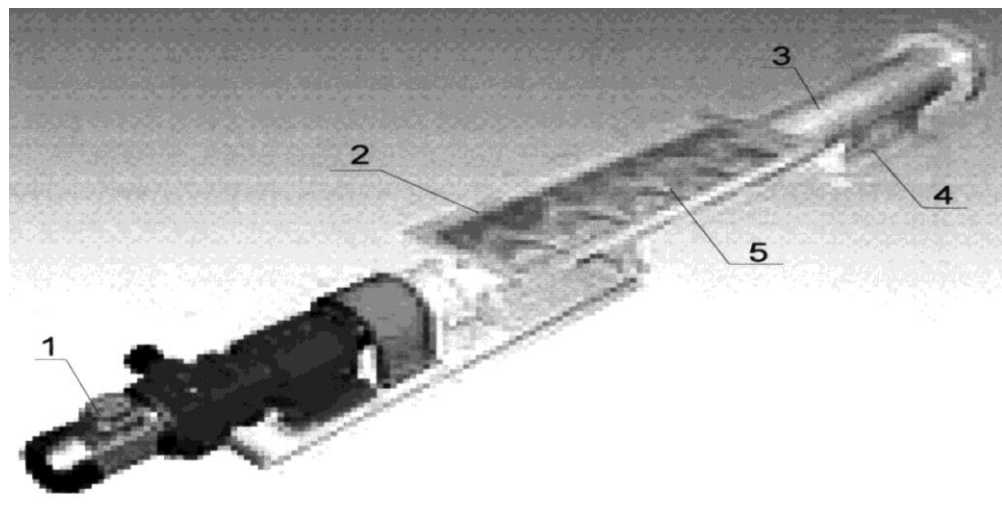


Рисунок 1.9 - Транспортні системи типу РТ з жорсткою спіраллю, що несе:

1 - електродвигун; 2 - завантажувальне вікно; 3 - корпус; 4 - розвантажувальне вікно; 5 – шнек

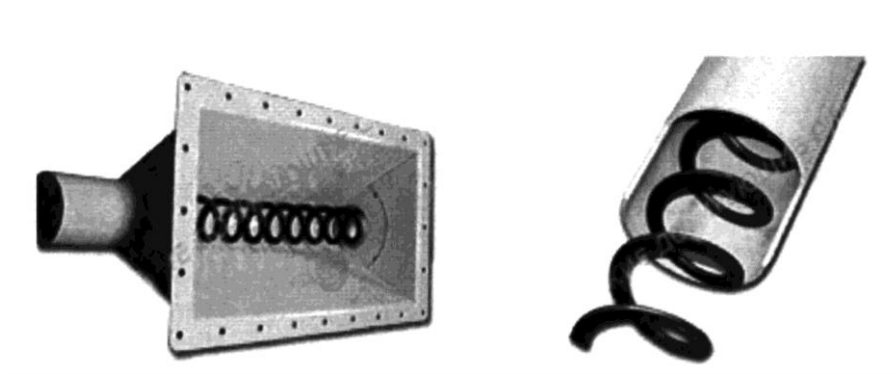


Рисунок 1.10 - Спіральний транспортер

Робочим органом конвеєра є спіраль, виготовлена з високовуглецевої зносостійкої сталі. Один кінець спіралі закріплений на валу приводної станції завантажувального модуля, а інший виходить в розвантажувальний модуль. При обертанні спіралі матеріал переміщається від приводної станції конвеєра до розвантажувального модуля. Конвеєри цієї моделі мають наступні характеристики: максимальна довжина - 5 м, діаметр подаючої спіралі - 44 мм, крок навивки 45 мм, продуктивність в стандартній комплектації - 0,5 м³/год (для матеріалів з коефіцієнтом внутрішнього тертя 0,6) при частоті обертання, 187 хв⁻¹. До недоліками слід віднести малу довжину транспортування, неможливість роботи без додаткового навантажувача, а також невелику продуктивність.

Проведений огляд літературних і патентних джерел дозволяє зробити наступні висновки.

Спіральні конвеєри широко використовуються в різних сферах сільського господарства і харчової промисловості. Але незважаючи на це, питання транспортування зернових як і раніше залишається відкритим.

Хоча є немало спіральних установок для переміщення зерна, проте, розглянувши усі їх конструктивні особливості, ми виявили істотні недоліки.

Існуючі конструкції спіральних конвеєрів, призначених для роботи із зерном, не можуть вантажити його безпосередньо з бурту. Вони працюють в системі машин. Для подання зернового матеріалу в завантажувальний модуль

потрібно додаткову техніку або ручну працю. Як правило, частіше усе це питання вирішується із застосуванням ручної праці.

У деяких конвеєрів неможливо регулювати довжину транспортування. При переміщенні матеріалу за схемою «до приводу» вони або обмежені завдовжки, або мають жорсткий кожух, що обмежує їх використання в просторі. Конвеєри з жорстким кожухом транспортують матеріал тільки горизонтально або з невеликим кутом нахилу, оскільки зі збільшенням кута при завантаженні зменшується продуктивність системи.

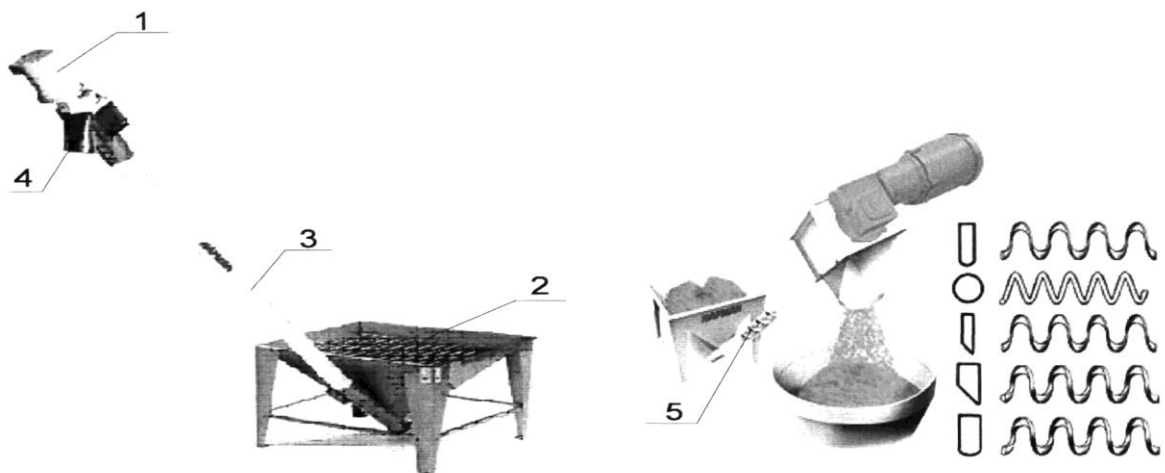


Рисунок 1.11 - Гнучкий спірально-гвинтовий конвеєр від Helix Нарман:
1 - електродвигун; 2 - завантажувальний модуль; 3 - корпус;
4 - розвантажувальний модуль; 5 - шнек

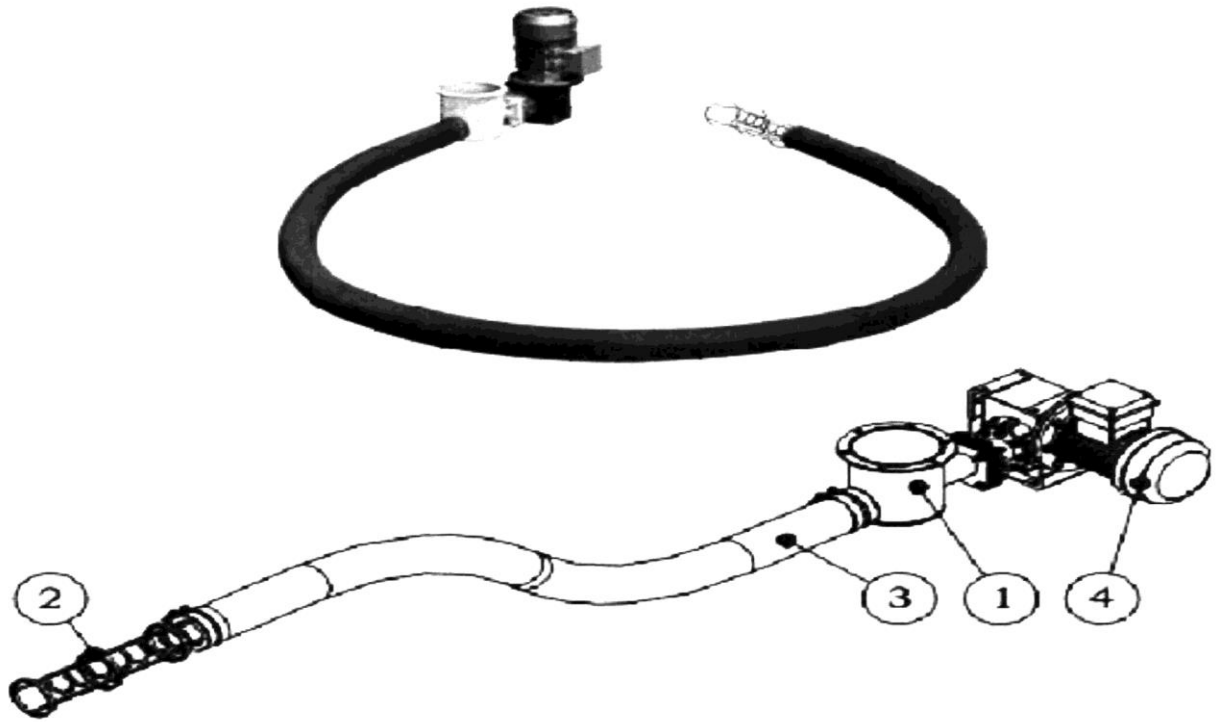


Рисунок 1.12 - Гнучкий пружинний шнек моделі «ГШ-50»: 1 - завантажувальний модуль; 2 - розвантажувальний модуль; 3 - гнучкий корпус; 4 - приводна станція з мотор-редуктором

Також відзначається низька продуктивність при невеликих діаметрах спіральних шнеків, а із застосуванням великих діаметрів виникають незручності у використанні, обумовлені конструкції. Практично немає гнучких конвеєрів, що дозволяють переміщати зерно за просторовою схемою вільно регулюючи довжину і при потребі переміщати шнек під час процесу.

Від транспортуючих пристроїв потрібно багатофункціональність, швидкість і легкість при переміщенні, можливість зміни довжини і кута транспортування під час роботи. Тому виникає необхідність розробки спірального конвеєра з високою продуктивністю, що дозволяє здійснювати вантаження з будь-якої поверхні, робочого органу, що має довжину, не менше 10 м.

1.2 Класифікація спіральних конвеєрів

Спіральні конвеєри отримали широке поширення внаслідок простоти

пристрою, зручності експлуатації і високої надійності. Проведений аналіз різних конструкцій спіральних конвеєрів показав, що існує велика їх різноманітність і для вирішення одного і того ж технологічного завдання можуть бути вибрані різні типи машин. Основними критеріями вибирання засобів механізації є задоволення комплексу технічних вимог і техніко-економічна ефективність застосування техніки, а також забезпечення надійності і безпеки праці.

Для виявлення перспективного рішення транспортування зерна на підставі проведеного аналізу і систематизації відомих нині спіральних конвеєрів була складена їх класифікація залежно від конструктивних і експлуатаційних параметрів (рис. 1.13).

За призначенням спіральні конвеєри діляться на транспортери, навантажувачі, розвантажувачів, живильники, дозатори, змішувачі, розподільники, сушарки.

По виконанню вони бувають самостійними, допоміжними і комбінованими. Перші працюють як окремі машини, а допоміжні є частиною машини або агрегату роботи, що покращує процес, в цілому. Комбіновані конвеєри широко використовують при механізації процесів в тваринництві, вони можуть не лише транспортувати матеріал, але і здійснювати його обробку.

По режиму роботи конвеєри підрозділяються на тихохідні і швидкохідні. У горизонтальних конвеєрів найчастіше невелика частота обертання шнека, вони тихохідні (кутова швидкість менша за критичну). Зі збільшенням кута нахилу зменшується продуктивність конвеєра тому похилі і вертикальні конвеєри як правило швидкохідні (кутова швидкість більша за критичну).

По напрямку переміщення матеріалу спіральні конвеєри підрозділяються на горизонтальні, похилі, вертикальні, просторові, здійснюючі переміщення по кільцю.

Вертикальні спіральні конвеєри компактніші в порівнянні з горизонтальними і похилими, що дозволяє економно використати виробничі площі. Проте вони вимагають більш високих енерговитрат і мають низьку продуктивність. Просторові спіральні конвеєри застосовують для переміщення

сипких вантажів по складній трасі. Вони дозволяють подавати продукт по нахилах і вигинах. Конвеєр можна змонтувати так, що продукт на своєму шляху здатний переміщатися по вільній траєкторії з можливістю підйому до 10 м. Цей вид конвеєрів здатний працювати при будь-якому компонуванні устаткування.

По конструкції кожуха спіральні конвеєри бувають з циліндричним, U-образним (відкритим) і конусоподібним кожухом. U-образний кожух використовують при горизонтальному (тихохідному) транспортуванні, циліндричний застосовується при герметичному переміщенні вантажу на всіх напрямках. Конусоподібний кожух особливо придатний для важкосипучих продуктів, в яких постійно зустрічаються великі шматки, або для вантажу, який вимагає особливо дбайливого транспортування (наприклад, ягода).

По наявності валу досліджувані конвеєри можуть бути з жорстким валом, з валом змінної жорсткості, з неповним гнучким валом, з тросом, з ланцюгом, без валу. Сучасні спіральні конвеєри в основному не мають валу, що виключає застійні зони, значно спрощує конструкцію і дозволяє транспортувати продукт по просторовій трасі.

По кількості пружин - односпіральні, двоспіральні і трьохспіральні. Двоспіральний і трьохспіральний гнучкі шнеки, є циліндричні гвинтові спіралі, що обертаються, вставлені одна в іншу і поміщені в гнучкий кожух. В цьому випадку транспортуючі елементи виготовляють зі взаємно протилежними напрямками підйому витків (спіралі правої і лівої навивок) які обертаються в протилежних напрямках.

За способом кріплення спіралі конвеєри діляться на односторонні і двосторонні. За способом її руху - з обертальним і з поступальним. По конструкції спіралі - дріт круглого перерізу, дріт квадратного перерізу, дріт прямокутного перерізу, сплюснутий дріт, багатожильний дріт, широка стрічка з однією закругленою стороною, вузька стрічка з однією закругленою стороною, широка стрічка із скосом з одного боку, вузька стрічка із скосом з одного боку.

Навивка гвинтової лінії у конвеєрів може мати правий або лівий напрям. Це обумовлено кінематичною схемою машини.

Завантажувальна частина спіральних конвеєрів може бути: за формою - циліндрична, конічна і прямокутна; за схемою завантаження - кругова або одностороння.

Розвантажувальна частина конвеєра ділиться за принципом дії - на самопливну і порційну; за схемою розвантаження - на кругову, кутову і осьову; за формою - на циліндричну, конічну, прямокутну і порційну.

Гвинтова лінія може бути з постійним кроком, зі змінним кроком, з постійним діаметром, зі змінним діаметром.

Особливо актуальне використання спіральних конвеєрів для транспортування зерна і продуктів його переробки як на млинових комплексах і комбікормових заводах, так і в невеликих фермерських господарствах тих, що виробляють продукцію рослинництва і тваринництва.

При аналізі конструкцій спіральних шнеків і перспектив їх можливого використання було встановлено, що вдосконалення і розробка обумовлені індивідуальними особливостями виробництва зерна, а отже - специфікою технологічної схеми.

Незважаючи на зростання мережі зерносховищ в нашій країні в період масового збирання врожаю досі застосовують тимчасове зберігання зерна у буртах. При формуванні єдиного бурту з куп, перебуртовке і вантаженню зерна, як правило, використовують скребкові і гвинтові транспортери. Проте практика показала, що їх застосування не досить ефективно при роботі в потокових лініях, де потрібно одночасне або послідовне виконання декількох операцій. Проведений аналіз дозволив вибрати в якості перспективного конвеєра для переміщення зерна по просторовій трасі з безвальним односпіральним робочим органом з дроту круглого перерізу, що обертається в гнучкому циліндричному кожусі і закріпленим з одного боку на валу двигуна, з іншого боку в завантажувальному пристрої. Огорожа зерна здійснюється з одного боку. Проте було відмічено, що, по-перше, існуючі конструкції, вживані в таких лініях, забезпечені завантажувальним модулем, що припускає використання додаткової техніки або ручної праці при завантаженні; по-друге, спіральні шнеки з

можливістю розташування в просторі, мають або незначну довжину, або невелику продуктивність; по-третє, будь-який конвеєр зерна функціонує стаціонарно і не передбачено його пересування під час роботи.

Шляхом поліпшення конструктивних і кінематичних параметрів (зміна діаметру шнека, завантажувальною і розвантажувальною частин конвеєра, монтаж різних типів живильників, а так само за рахунок зміни частоти обертання шнека) можна поліпшити техніко-економічні показники спірального конвеєра, але слід враховувати вже існуючі розробки.

Таким чином, необхідно проаналізувати схему роботи і існуючі матеріали досліджень спіральних конвеєрів, запропонувати конструктивно-технологічну схему з використанням нових принципів переміщення матеріалу, а для оптимізації параметрів провести теоретичні і експериментальні дослідження і порівняти їх результати.

1.3 Принципова схема роботи спіральних конвеєрів

Принцип дії гнучкого шнека представлений на рис. 1.15. Процес транспортування полягає в перетворенні обертального руху спірального шнека в поступальну ходу вантажу. На переміщуваний матеріал з боку поверхні спіралі діють осьова сила і обертальний момент. Основна умова транспортування - наявність сил опору, сил опору, що утворюють момент, який гальмує обертальний рух вантажу, викликаючи тим самим його осьове переміщення.

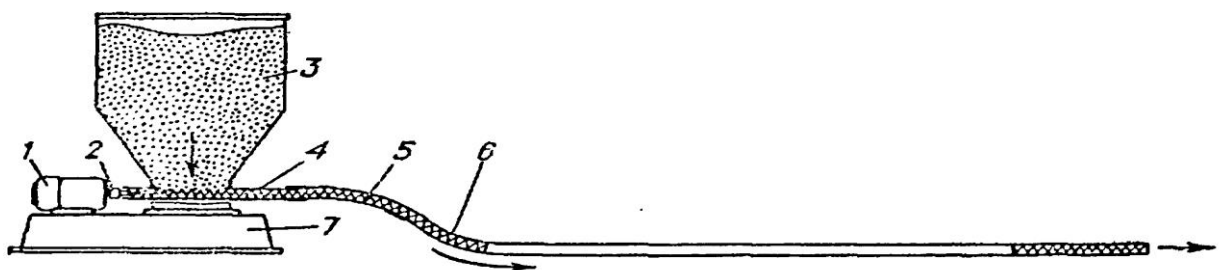


Рисунок 1.15 - Транспортування гнучким шнеком за схемою «від приводу»:

1- електродвигатель; 2 - сполучна муфта; 3 - розвантажувальний бункер;

4 - металевий патрубок; 5 - транспортуюча спіраль; 6 - гнучкий рукав;

7 - станина.

Робота спірального конвеєра аналогічна роботі гвинтового і є процесом з послідовних, нерозривно пов'язаних і погоджених між собою дій: завантаження матеріалу, транспортування – переміщення матеріалу на різну висоту і (чи) довжину і розвантаження.

Раніше дослідження проводили шляхом встановлення оптимальних умов роботи і конструктивних параметрів шнеків, визначення форми огорожної ділянки (зони завантаження) і числа огорожних витків спіралі, виду траси, довжини конвеєра і ряду інших параметрів залежно від напрямку руху і висоти підйому матеріалу. Відмічені наступні основні закономірності роботи спіральних конвеєрів.

Залежно від напрямку транспортування можлива довжина спірального шнека досить значно змінюється. Так, при переміщенні матеріалу за схемою «від приводу» (див. рис. 1.15), коли спіраль працює на скручування і стискування, довжина конвеєра, виходячи з міцності робочого органу, може досягати $b=12...15$ м.

Коли матеріальний потік спрямований за схемою «до приводу» (малюнок 1.16), спіраль працює на розкручування і під навантаженням дещо збільшується в діаметрі. В цьому випадку гнучкий шнек, щоб уникнути самозаклинивання спіралі в кожусі, слід робити по можливості коротким (≤ 5 м) з числом огорожних витків $\geq 4...5$. Отже, прийнятнішим є перший спосіб роботи спірального конвеєра.

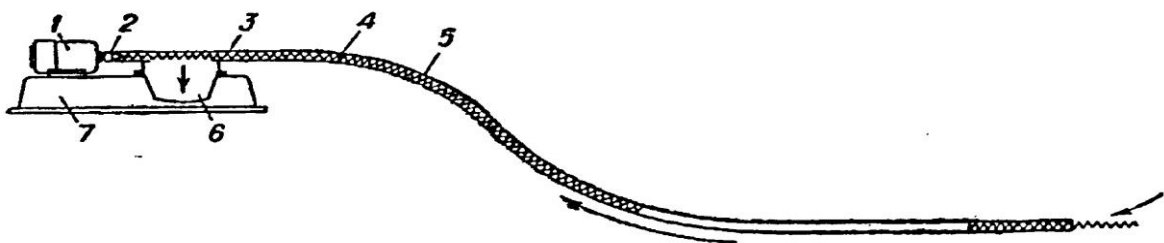


Рисунок 1.16 - Транспортування за схемою «до приводу»: 1 - електродвигун; 2 - сполучна муфта; 3 - металевий патрубок; 4 - транспортуюча спіраль; 5 - гнучкий рукав; 6 - розвантажувальна воронка; 7 - станина.

З метою збільшення загальної довжини траси іноді прибігають до поєднання (рис. 1.17). Довжина шляху транспортування може бути збільшена

при цьому до 20 м.

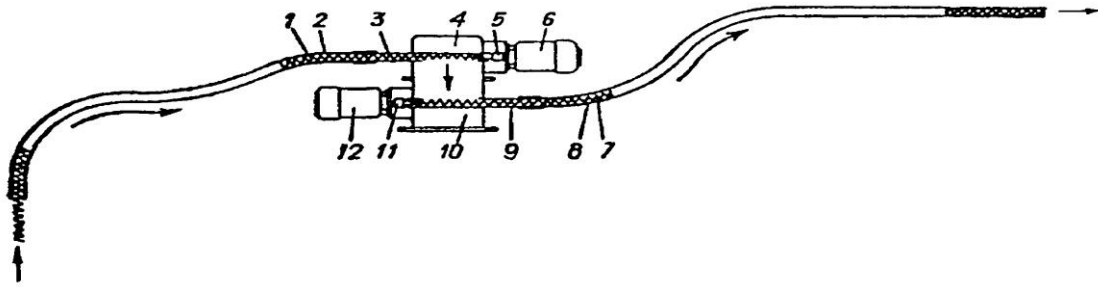


Рисунок 1.17 - Установка гнучкого шнека з перевантаженням матеріалу і роздільним приводом транспортуючих спіралей: 1 - огорожна спіраль; 2 - огорожний рукав; 3,9 - жорсткі патрубки; 4 - розвантажувальна ділянка; 5, 11 - сполучні муфти; 6, 12 - електродвигуни; 7 - розвантажувальна спіраль; 8 - розвантажувальний рукав; 10 - завантажувальна зона.

При завантаженні зерна з бурту переважно використати схему «до приводу», проте поєднання двох схем з метою збільшення довжини траси приведе до зниження продуктивності і підвищеної травмованості зернового матеріалу за рахунок перевантажувального відсіку. Тому необхідно зменшити навантаження на спіраль, що дозволить збільшити довжину лінії при необхідній схемі переміщення.

1.4 Аналіз існуючих досліджень спіральних конвеєрів

Вивчалися питання руху ізольованої матеріальної точки в загальному випадку похилого швидкохідного шнека, що є загальними і для однопружинного гнучкого шнека. Автор спробував вирішити питання визначення продуктивності гнучкого шнека і споживаної ним потужності при транспортуванні порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів. Також були представлені рекомендації за визначенням оптимальних варіантів вибору конструктивних і режимних параметрів.

У разі гнучкого шнека (спірального конвеєра) Преображенский П. А. рекомендує визначати продуктивність згідно з рівнянням

$$W = K_w F_K V_{z.c.m} \rho \quad (1.1)$$

де F_K - площа поперечного перерізу кожуха, m^2 , ρ - щільність матеріалу, kg/m^3 , $V_{z.c.m}$ - середня осьова швидкість маси матеріалу, m/s , що транспортується, а теоретичні і експериментальні дослідження направити на виявлення можливо простого вираження значення коефіцієнта продуктивності тільки через конструктивні параметри шнека, а при визначенні середньої осрової швидкості переміщення матеріалу користуватися середньою осьовою швидкістю ізольованої матеріальної точки, що рухається в положенні постійно притиснутому до кожуха силою інерції.

Оскільки транспортування спіральним конвеєром здійснюється в основі гвинтовим робочим органом (циліндричною гвинтовою спіраллю) і рух ізольованої матеріальної точки в ній ідентичний її руху в звичайному шнеку з суцільному гвинтом, те вивчення транспортування слід розпочинати з розгляду руху точки.

У своїх роботах, що стосуються руху ізольованої матеріальної точки по гвинтовій поверхні, враховували рух матеріальної частки в середовищах, що чинили опір, і на шорстких поверхнях, що наклало свій відбиток на методи рішення вказаної задачі в спіральному конвеєрі, проведені подальшими дослідниками. Розглянутий розподіл осьових швидкостей руху матеріальної частки в межах кола, виявлений вплив коефіцієнта тертя переміщуваного матеріалу об внутрішню стінку кожуха на осьову швидкість цього матеріалу і рішенням диференціальних рівнянь встановлені режими руху матеріальної частки.

Для випадку транспортування порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів, з урахуванням результатів теоретичних і експериментальних досліджень рекомендує наступну формулу для розрахунку продуктивності гнучкого шнека:

$$W = 150 \frac{n_B d^2}{D_K} \left(D_K^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \frac{\sin \alpha_K \cos(\alpha_K + \varphi_1)}{\cos \varphi_1} \rho \quad (1.2)$$

де n_B - частота обертання транспортуючої спіралі, min^{-1} ;

d - зовнішній діаметр спіралі, м;

D_K - діаметр гнучкого кожуха, м;

δ - діаметр дроту спіралі, м;

$\alpha = \arctg \frac{S}{\pi d_{cp}}$ - кут нахилу гвинтової лінії до осі дроту спіралі в кожусі,

градусів;

S - крок гвинтової лінії, м;

$d_{cp} = d - \delta$ - середній діаметр спіралі, м;

$\alpha_K = \arctg \frac{S}{\pi D_K}$ - робочий кут нахилу гвинтової лінії до осі кожуха, градусів;

φ_1 - кут тертя ковзання матеріалу, що транспортується, за матеріалом спіралі, градусів;

ρ - щільність матеріалу, що транспортується, т/м³.

Аналіз існуючих досліджень показав наступне.

1. Можливість транспортування зерна гнучким спіральним шнеком з бурту практично не вивчалася. Це пояснюється тим, що зі збільшенням частоти обертання спіралі під час захоплення матеріалу з бурту (при вході в кожух) походить надмірне його розкидання, внаслідок чого продуктивність конвеєра без завантажувального модуля значно менша.

2. Нині досягнута межа підвищення продуктивності за рахунок обґрунтування параметрів спіралі, кожуха і завантажувального модуля. Це призводить до висновку, що подальше її підвищення можливе за рахунок нових принципів руху матеріалу, а саме поєднання процесів транспортування спіраллю і потоком повітря.

1.5 Застосування в сільськогосподарському виробництві пневмотранспортних установок, оснащених шнеками

У сільськогосподарському виробництві пневмотранспортні установки

застосовують для переміщення зерна, мінеральних добрив, соломи, шерсті і інших вантажів: як самостійне устаткування, яке служить для транспортування сипких матеріалів в найрізноманітніших процесах, так і в якості додаткової частини у вигляді вбудованого транспортуючого пристрою в сільськогосподарських машинах (сепаратори, комбайни, зерноочисні машини та ін.). Вони також використовуються на операціях по очищенню і сушці зерна.

У різні роки розроблялися і серійно випускалися наступні пневматичні транспортери, оснащені шнеками.

Пневматичний розвантажувач всмоктуючо-нагнітальної дії С-960 (рис. 1.20) призначений для транспортування пилоподібних вантажів. Він передає матеріал, що транспортується, на порівняно невеликі відстані (в межах 12...16 м) при висоті подання не більше 1,5...2,0 м, тому часто працює в комплекті з іншими транспортними механізмами (елеваторами, транспортними шнеками, гвинтовими пневмопідйомниками і аерожолобами і тому подібне), що здійснюють подальше транспортування вантажу в складські ємності, вивантаженого розвантажувачем із залізничного вагону.

Напірні установки пневмоподачі матеріалу ТПН-12, ТПН-28, ТПН-45 (рис. 1.21) використовуються для транспортування зерна, вивантажуваного з бункерів зерносховищ, нижніх люків вагонів-хоперів. Це устаткування відрізняється простотою і надійністю конструкції, низькою споживаною потужністю. Крім того, зерно може подаватися у бункер пневмотранспортера шнековим або стрічковим транспортерами або завантажуватися вручну.

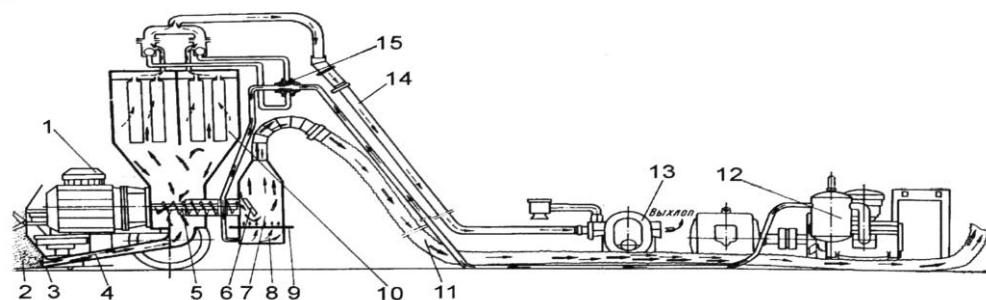


Рисунок 1.20 - Пневматичний розвантажувач всмоктувально-нагнітальної дії С- 960: 1 - самохідний огорожний пристрій; 2 - матеріал, що транспортується; 3 - підгрібаючі диски; 4 - сопло; 5 - камера напірного шнека; 6

- клапан; 7 - камера змішувача; 8 - аероднище; 9 - мікропориста перегородка; 10 - камера фільтрів; 11 - цементопровід; 12 - компресор; 13 - повітродувка; 14 - гнучкий повітропровід; 15 - кран

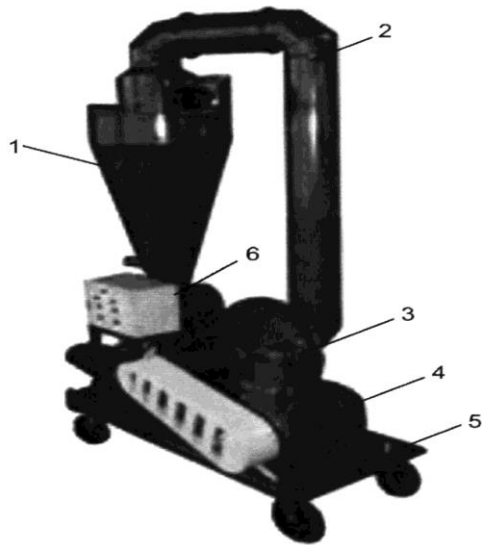


Рисунок 1.21 - Пневматичний транспортер сипких матеріалів серії ТПН: 1 - циклон; 2 - трубопровід; 3 - вентилятор; 4 - електродвигун; 5 - рама; 6 - пульт управління

З бункера матеріал через шлюзовий затвор поступає в матеріалопровід, де підхоплюється потоком повітря що нагнітається вентилятором і транспортується до місця вивантаження.

Пневмошнековий навантажувач GV - 120 (рис. 1.22) з приводом від валу відбору потужності трактора використовується при розвантаженні і завантаженні автомашин, вагонів, зерносховищ, судів, завантаженні зерна з насипу. Основною рушійною силою є всмоктуване повітря, яке захоплює продукт і подає його в зернову камеру. Як тільки повітряний потік з продуктом потрапляє всередину, його швидкість сповільнюється, зерно опускається на дно зернової камери і подається на шнек для подальшого вивантаження. Повітря, пил, лушпиння виводяться через вихлопну трубу.

Гвинтовий живильник для нагнітальної пневмотранспортної установки представлений на рис. 1.23. Винахід відноситься до області пневмотранспортування сипких матеріалів. Гвинтовий живильник для нагнітальної пневмотранспортної установки містить корпус із

завантажувальною камерою, шнек з валом, розміщений в корпусі і пов'язаний з приводом, камеру змішувача з еластичною оболонкою, сполучену з корпусом. У завантажувальній камері встановлений з можливістю повороту навколо своєї осі лоток, забезпечений робочою поверхнею, призначеною для подання сипкого матеріалу по напрямку обертання шнека, фіксатором і козирком, причому робоча поверхня і козирок розташовані по різні сторони осі лотка, сполученої з вібратором і за допомогою пружного зв'язку і фіксатора із завантажувальною камерою.

Гвинтовий живильник може бути забезпечений направляючими ребрами, розміщеними по довжині внутрішньої поверхні корпусу, що утворює, а також циліндром, виконаним з металевих лускатих елементів, закріплених усередині еластичної оболонки, і підпружиненим графітовим кільцем, призначеним для ущільнення валу шнека. Цей винахід забезпечує підвищення продуктивності живильника пневмотранспортної установки.

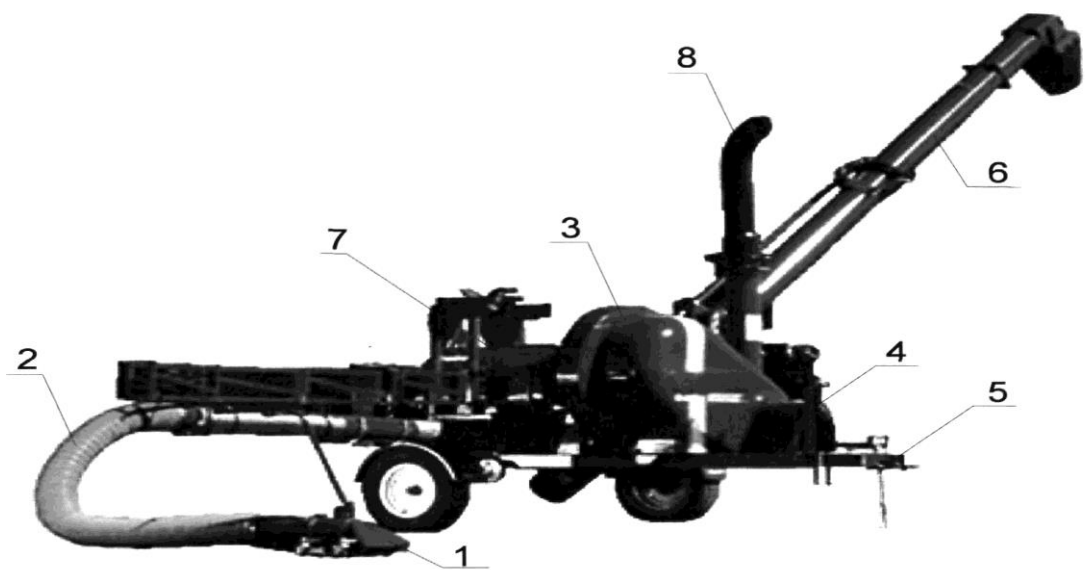


Рисунок 1.22 - Пневмошнековий навантажувач GV- 120: 1 - завантажувальний модуль; 2 - трубопровід; 3 - вентилятор; 4 - електродвигун; 5 - рама з ходовою частиною; 6 - відвантажувальний шнек; 7 - зернова камера; 8 - вихлопна труба

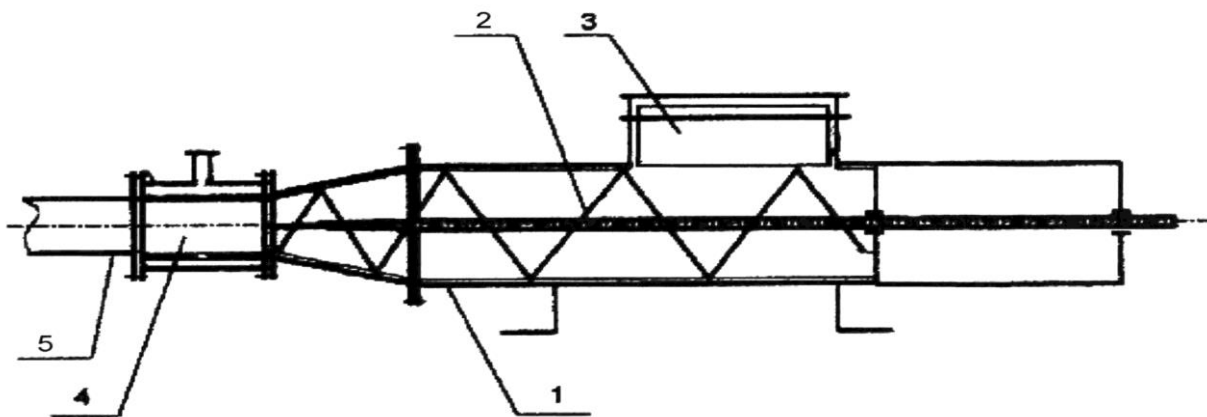


Рисунок 1.23 - Гвинтовий живильник для нагнітальної пневмотранспортної установки: 1 - корпус; 2 - гвинтовий шнек; 3 - завантажувальний модуль шнека; 4 - завантажувальний модуль пневмотранспортируючої труби; 5 - трубопровід

Пневматичний живильник для транспортування зволоженого сипкого матеріалу (рис. 1.24) складається з горизонтального циліндричного корпусу з бункером, приймальною, повітряною і змішувачем камер і шнека. У бункері і камері змішувача на горизонтальних пружинах навішений вильчатий вібророзпушувач, стержень якого входить у взаємодію з витками шнека. На днищі камери змішувача встановлена крильчатка, що обертається, для розпушування матеріалу, що поступає в камеру. Шнек має початкову ділянку ущільнювача з витками з кроком, що зменшується у бік подання матеріалу, середня аеруюча ділянка з лопатками і кінцева ущільнююча ділянка з витками з кроком, що зменшується до випускного вікна корпусу. Матеріал, що транспортується, ущільнюється перед аеруючою зоною, після чого розпушується вказаними лопатками, через нього проходить гаряче повітря з повітряної камери через отвори, сітчасте кільце і виходить у відповідний патрубок. Після цього підсушений матеріал ущільнюється витками в кінцевій зоні, вивантажується в камеру змішувача на крильчатку для роздрібнення і транспортується таким, що поступає через днище камери змішувача повітряним потоком в напірний трубопровід.

При аналізі існуючих пневмотранспортних установок оснащених шнеками і вживаних для транспортування зерна, були відмічені наступні їх недоліки: забивання трубопроводу пневмосистеми, великі енерговитрати, шнекові

навантажувальні органи є допоміжним компонентом в машині. Також під час дослідження відмічено, що потік повітря і шнек працюють послідовно, т. е. не впливають на принцип переміщення матеріалу.

Поєднання принципів переміщення зерна застосоване у вертикальній пневмогвинтової установці для вантаження зерна. Робота пневмогвинтового конвеєра відбувається за рахунок поєднання двох рушійних сил: осової рушійної сили гвинта і потоку повітря. За рахунок одночасної роботи пневмосистеми відбувається вертикальне переміщення вантажу. Перше приводить зерно в зважений стан, другий, - переміщає матеріал по тій, що направляє.

Основними частинами пропонованого конвеєра є: рама, завантажувальний бункер, кожух, шнек, пневмокамера, трубопровід зі вбудованим шлюзовим затвором, повітропровід зі вбудованою заслінкою і вентилятор, працюючий від приводної системи. При роботі пневмогвинтового конвеєр починає під впливом потоку повітря і шнека переміщати зерно по кожуху із завантажувального бункера в пневмокамеру. Звідки по трубопроводу за допомогою шлюзового затвора зерно розвантажується. Проте цей конвеєр переміщає матеріал лише у вертикальному напрямі і є стаціонарним пристроєм, що значно обмежує його використання.

Аналогічно принцип поєднання процесів транспортування може бути застосований в конструкції спірального конвеєра. Це допоможе досягти наступних результатів:

- під сукупною дією спіралі і пневматики зернова маса рухається рівномірно, що дозволить зменшити навантаження на робочий орган і збільшити довжину лінії транспортування за схемою «до приводу»;
- з'явиться можливість переміщати зерно за просторовою схемою, вільно регулюючи довжину пересування шнека під час роботи, причому вантаження здійснюватиметься з будь-якої поверхні;
- всмоктуючий повітряний потік дозволить підвищити продуктивність спірального конвеєра при завантаженні з насипу за рахунок зменшення розкидаючого ефекту і збільшення заповнення міжвиткового простору;

- пневмосистема створить в спіральній установці необхідний тиск і зернова маса буде приведений в псевдозріджений стан, що перешкоджає надмірному перемішуванню зерна.

У дослідженнях гнучких шнеків, що раніше проводяться, вказувалася можливість застосування пневмопідпора при транспортуванні сипких матеріалів, проте дослідження в цій області не проводилися у зв'язку з відсутністю науково-технічних і конструкторських даних, необхідних для проектування.

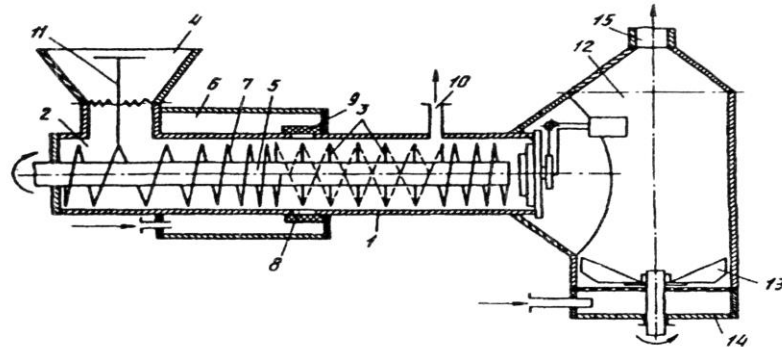


Рисунок 1.24 - Гвинтовий живильник для нагнітальної пневмотранспортної установки: 1 - корпус; 2 - приймальна камера; 3 - лопатки; 4 - бункер; 5 - шнек; 6 - повітряна камера; 7 - витки ущільнюючої ділянки; 8 - отвори; 9 - кільце; 10 - патрубок; 11 - вібророзпушувач; 12 - камера змішувача; 13 - крильчатка; 14 - днище; 15 - напірний трубопровід

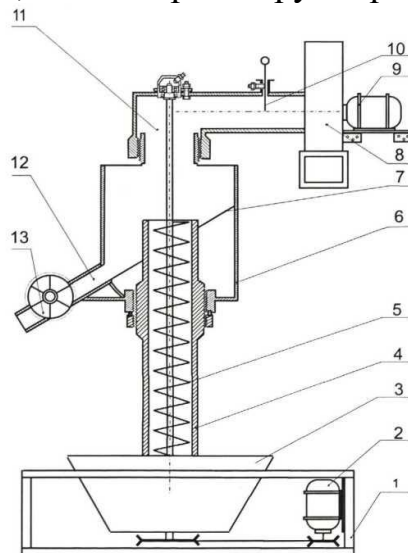


Рисунок 1.25 - Вертикальна пневмогвинтова установка для вантаження зерна: 1 - рама; 2, 9 - приводна система; 3 - приймальний бункер; 4 - кожух; 5 - шнек; 6 - пневмокамера; 7 - скатна площина; 8 - вентилятор; 10 - заслінка; 11 - повітропровід; 12 - вивантажний патрубок; 13 - шлюзовий затвор

Розробки по поєднанню механічної і пневматичної складових також маловивчені. Таким чином, з'являється потреба внесення змін до конструкції спірального конвеєра, проведення необхідних теоретичних і експериментальних досліджень робочого процесу пневмоспірального конвеєра, узгодження його параметрів і режимів для забезпечення ефективної роботи.

Висновки

На основі проведеного аналізу літературних джерел, виробничого досвіду і наукових робіт, присвячених дослідженню спіральних конвеєрів і пневмотранспортних установок, оснащених шнеками, можна зробити висновки:

1. Транспортування є однією з основних операцій в усіх технологічних схемах при виробництві і зберіганні зерна. На особливу увагу заслуговує організація складних плоских і просторових трас, чому відповідає спіральний конвеєр.

2. Розроблена класифікація спіральних конвеєрів дозволяє встановити перспективні конструктивні рішення.

3. Огляд існуючих досліджень гнучких шнеків показав, що у спіральних конвеєрів, що випускаються нині, призначених для роботи із зерном, неможливо змінювати довжину і трасу під час транспортування; вони не можуть робити завантаження безпосередньо з бурту без додаткової техніки; конвеєри, що працюють за схемою «до приводу» рекомендується виготовляти завдовжки не більше 5 м.

4. Обґрунтування параметрів пропонованої моделі дозволить виявити її ефективність і удосконалювати процес транспортування зерна.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМОСПІРАЛЬНОГО КОНВЕЄРА

Аналіз, проведений в першій главі, показав відсутність наукових досліджень і теоретичних розробок, присвячених обґрунтуванню параметрів спіральних конвеєрів, працюючих спільно з пневмотранспортом.

Потік повітря значно змінює взаємодію матеріалу, що транспортується, зокрема зерна, і пружинного шнека. Основними завданнями в даному випадку є збільшення довжини гнучкого шнека, що переміщає матеріал за схемою «до приводу», підвищення продуктивності за рахунок зміни принципу переміщення, отримання залежності продуктивності пневмоспірального конвеєра від конструктивних і режимних параметрів і їх обґрунтування.

2.1 Конструктивно-технологічна схема пневмоспірального конвеєра

Проведений аналіз існуючого процесу транспортування зерна, що виконується спіральним конвеєром (рис. 2.1. а). Зерно 1 подається в завантажувальну воронку 3 за допомогою навантажувача 2, транспортується під дією гнучкого спірального шнека 4, обсипається вниз через розвантажувальну воронку 5. Недоліком процесу є обмежена продуктивність і необхідність застосування додаткового навантажувача 2.

Для виключення встановлених недоліків розроблена технологічна схема процесу транспортування зерна виконуваного пневмоспіральним конвеєром (рис. 2.1. б). Завантаження робиться із зернового бурту 1 завантажувальним пристроєм 2, переміщається гнучким спіральним шнеком і повітряним потоком 3, обсипається в пневмокамеру 4 і через шлюзовий розвантажувач 5 поступає на подальшу обробку.

Аналіз представлених схем (рис. 2.1. а, б) показує, що в схемі на рис. 2.1. би відсутній додатковий навантажувач, а транспортування зерна робиться спіральним шнеком і повітряним потоком, що значно підвищує продуктивність

процесу транспортування.

Спіральні конвеєри (гнучкі шнеки), призначені для транспортування зерна, мають ряд недоліків, які виникають із-за особливостей фізико-механічних властивостей вантажу і умов роботи.

Основними недоліками існуючих спіральних конвеєрів є обмеження по довжині транспортування за схемою «до приводу», зменшення продуктивності при збільшенні кута нахилу огорожної ділянки, а також неможливість захоплення зерна безпосередньо з бурту. Продуктивність спірального конвеєра можна підвищити за рахунок збільшення частоти обертання спіралі. Але це викликає зростання енерговитрат і знижує якість матеріалу, що транспортується, внаслідок підвищення травмованості. З частоти обертання 1250 хв^{-1} стійкість роботи порушується, а темп зростання продуктивності починає відставати від збільшення частоти обертання спіралі.

Пневмоспіральний конвеєр (рис. 2.1 в) складається з вентилятора 6 з приводною системою 5, який герметично приєднаний через повітропровід 9 з регулюючою заслінкою 8 до пневмокамере 1, обладнаною шлюзовим розвантажувач 10 для вивантаження зерна, встановленого на рамі 11. Приводна система 5 також приводить в дію спіраль 2, що проходить через пневмокамеру, а також і по усій довжині гнучкого рукава 4 прикріплене одним кінцем до пневмокамере 1 з її зовнішнього боку в місці виходу спіралі 2 і на іншому його кінці оснащеного завантажувальним пристроєм 12 з ручкою для його переміщення.

Варіатор, що регулює частоту обертання спіралі, сполучений з нею через муфту за допомогою проміжного приводного валу 3 встановлене на підшипниках на бічній стінці пневмокамери. Така конструкція зменшує навантаження на приводну систему. Завантажувальний пристрій 12 обладнано центруючим валом спіралі для кріплення вільного кінця спіралі, що виключає її знос в місці контакту з металевою огорожною трубою.

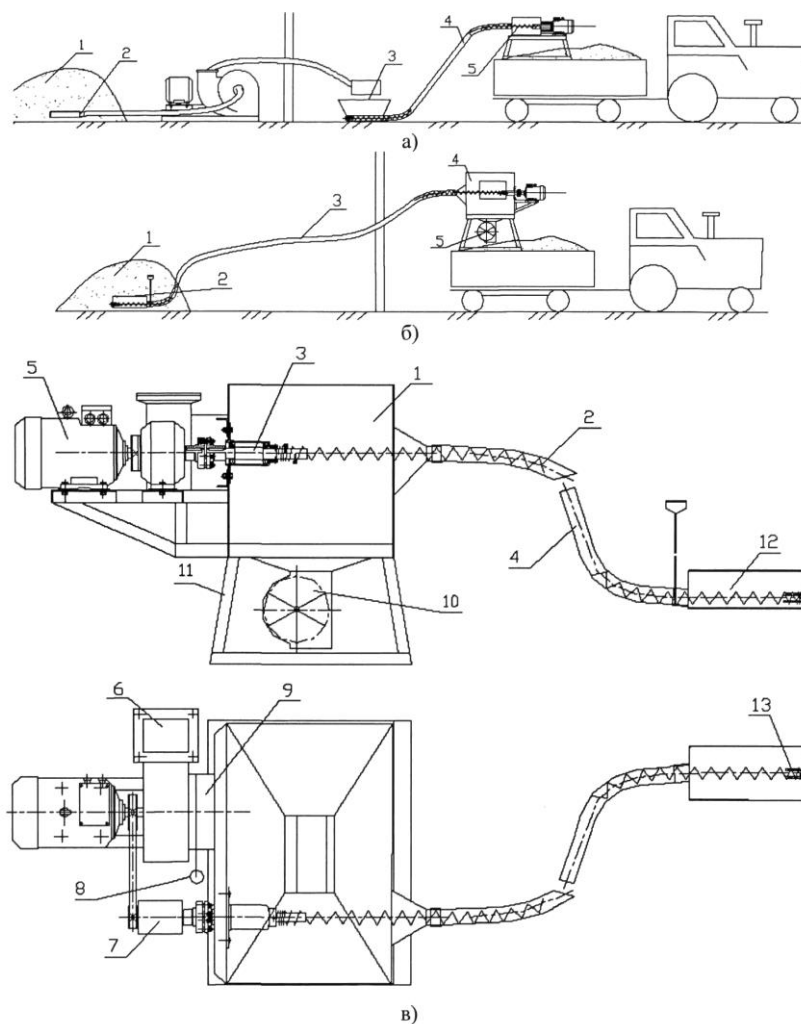


Рисунок 2.1 - а) Існуюча технологічна схема процесу транспортування спіральним конвеєром (гнучким шнеком): 1 - зерновий бурт; 2 – додатковий навантажувач; 3 - завантажувальна воронка; 4 - гнучкий спіральний шнек; 5 - розвантажувальна воронка;

б) Пропонована технологічна схема процесу транспортування пневмоспіральним конвеєром: 1 - зерновий бурт; 2 - загрузочний пристрій; 3 - гнучкий спіральний шнек з повітряним потоком; 4 - пневмокамера; 5 - шлюзовий розгрузитель;

в) Пневмоспіральний конвеєр: 1 - пневмокамера; 2 - спіраль; 3 - проміжний приводний вал; 4 - гнучкий рукав; 5,7 - привідна система; 6 - вентилятор; 8 - заслінка; 9 - повітропровід; 10 - вивантажний трубопровід; 11 - рама; 12 - завантажувальний пристрій; 13 - центруючий вал спіралі.

Пневмоспіральний конвеєр працює таким чином. Перед початком роботи фіксують встановлену в повітропроводі (9) заслінку (8), що регулює потік повітря залежно від виду вантажу, що транспортується. Вільний кінець гнучкого рукава 4 із завантажувальним пристроєм 12 поміщають в зерно, що

транспортується. При включенні електродвигун 5 одночасно приводить в дію вентилятор 6 і в обертання сполучений з нею проміжний приводний вал 3 спіралі 2, який встановлений на внутрішній стінці пневмокамери 1, частота обертання задається варіатором 7. Зерно захоплюється витками спіралі, що проходять через завантажувальний пристрій, потім подається в гнучкий рукав 4, де під впливом спіралі і потоку повітря починає переміщатися в пневмокамеру, встановлену на рамі 11. Досягши пневмокамери відбувається зменшення швидкості потоку повітря за рахунок перепаду тиску і зерно обсипається вниз до шлюзового разгрузителя 10, де здійснюється розвантаження конвеєра.

Така конструкція дозволяє підвищити продуктивність, за рахунок зменшення ефекту розкидання і збільшення заповнення, при поєднанні процесів транспортування спіраллю і потоком повітря і збільшити дальність вантаження по просторовій трасі, причому вантаження здійснюється безпосередньо з будь-якої поверхні, де знаходиться матеріал, що транспортується.

2.2 Основні параметри пневмоспірального конвеєра

Пневмоспіральна установка поєднує в собі спіральний конвеєр і пневмотранспортер.

Робота пневмоспірального конвеєра відбувається за рахунок поєднання двох рушійних сил: осьової рушійної сили спірального шнека і потоку повітря. За рахунок одночасної роботи пневмосистеми - з тиском повітряного потоку p і спірального шнека - з частотою обертання n відбувається переміщення вантажу. Перше приводить зерно в псевдозріджений стан, другий, - переміщає матеріал по тій, що направляє.

На рис. 2.3. а і б представлені основні конструктивні і режимні параметри пневмоспірального конвеєра.

Режимні параметри:

- частота обертання спіралі n , хв^{-1} ;
- швидкість повітря на вході v , м/с ;

- тиск усередині рукава p , кПа.

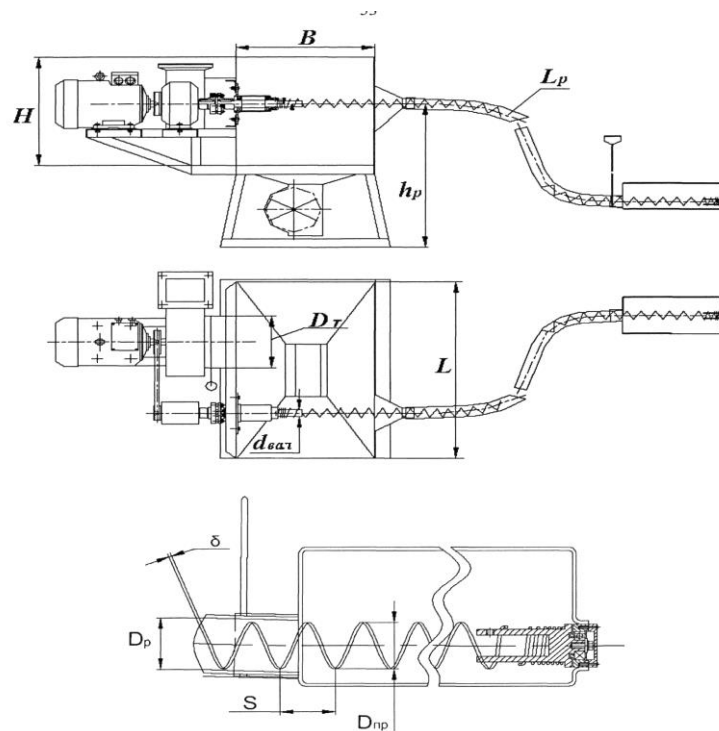


Рисунок 2.3 - а - Конструктивні параметри пневмоспиральної установки (загальний вигляд); б - конструктивні параметри завантажувального обладнання пневмоспиральної установки.

Конструктивні параметри:

- ширина пневмокамери B , м;
- довжина пневмокамери L , м;
- висота пневмокамери H , м;
- діаметр повітропроводу D_T , м;
- діаметр валу $d_{вал}$, м;
- внутрішній діаметр рукава D_p , м;
- зовнішній діаметр спіралі D_{np} , м;
- діаметр дроту δ , м;
- крок спіралі S , м;
- довжина гнучкого рукава L_p , м;
- кут нахилу гвинтової лінії спіралі α ;
- висота кріплення (установки) рукава h_p .

2.3 Дослідження динамічних течій в спірально-транспортуючому робочому органі пневмоспірального конвеєра

При русі потоку повітря через шар зерна міжзернове тертя знижується і матеріал, що транспортується, набуває властивість рідини. У такому стані рух двофазного потоку зерна схожий руху в'язкого газу. У гідродинаміці накопичені багато даних, що стосуються взаємодії різних тіл з потоком суцільного середовища, а також її течії в шарі зернистого матеріалу. Застосувавши їх, виявимо характер руху зерна в циліндричному гнучкому кожусі зі встановленою усередині спіраллю. Для цього проведені дослідження динамічних течій в'язкого газу в каналі робочого органу пневмоспірального конвеєра.

Рівняння динаміки в'язкого газу, як правило, досить складні і рішення їх точними або наближеними аналітичними методами не завжди доцільно. Нові і широкі можливості відкриває використання ЕОМ і застосування чисельних методів рішення.

Рішення цієї задачі зводиться до рядів, що містять бesselеві функції. Формула розподілу швидкостей в'язкого газу має вигляд:

$$\omega(r, t) = a^2 \frac{\Delta p}{4\mu l} \left[1 - \frac{r^2}{a^2} - 8 \sum_{k=1}^{\infty} \exp \left(- \frac{\nu \lambda_k^2 t}{a} \frac{J_0 \left(\lambda_k \frac{r}{a} \right)}{\lambda_k^3 J_1(\lambda_k)} \right) \right] \quad (2.1)$$

де a - скаляр; Δp - перепад тиску, на заданій ділянці довжини труби l , Па; μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, кг·м²/с; l - довжина ділянки, на якій заданий перепад тиску Δp , м; r - радіус-вектор точки, м; ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ м²/с; ρ - щільність рідини, кг/м³; λ - коефіцієнт опору руху рідини; t - час, с; λ_k - корені рівняння $J_0(\lambda_k) = 0$; J_0 та J_1 - функції Бесселя нульового і першого порядку.

Перші два доданків виражають рух, що встановився, і відповідають

параболі Пуазейля. Формула секундної витрати записана у виді:

$$Q_{opb} = \frac{\pi a^4 \Delta p}{8 \mu l} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\exp\left(-\frac{\nu \lambda_k^2 t}{a^2}\right)}{\lambda_k^4} \right] \quad (2.2)$$

Оскільки асимптотичні рішення не дають точного опису рішення, бажано отримати чисельне рішення рівняння динаміки в'язкого газу, які описують ті, що встановилися повністю розвинена течія в каналах спірального конвеєра з урахуванням ефекту кривизни. Система, що описує течію в'язкого газу в тороїдальній системі координат, записується рівняннями:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho F - grad\left(P_H + \frac{2}{3} \mu div v\right) + 2 div(\mu \dot{S}) \quad (2.3)$$

де P_H - тензор напруги; S - тензор швидкостей; F - щільність розподілу об'ємних сил в точці.

Течія в'язкого газу на проточній частині спіралі і кожуха розподілена на дві ділянки. Перший характеризується течією між навивками, а другий - між кожухом і спіраллю (рис. 2.4). Структура течії між витками спіралі відповідає структурі потоку по криволінійних каналах постійної кривизни. На першій ділянці характер течії визначається параметрами навивки спіралі (рис. 2.5). Поворот потоку між витками призводить до виникнення інерційної відцентрової сили такою, що діє уперек потоку. Що змінює умови руху зернової суміші. Виникаючі відцентрові сили призводять до зміни масової сили внаслідок появи обертальної складової швидкості.

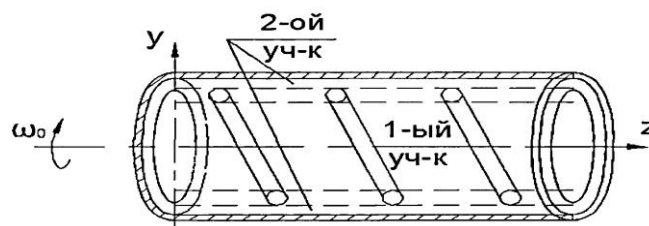


Рисунок 2.4 - Схема розподілу ділянок течії в каналі

Це призводить до зміни розподілу осьової складової швидкості : в

периферійній частині швидкість збільшується, а в приосевої зменшується. Характерною особливістю другої ділянки є наявність руху як між витками спіралі, так і між нею і кожухом. В цьому випадку поле швидкостей визначається не лише рухом і параметрами спіралі, але і швидкістю всмоктування.

На ділянці (приблизно 6...8 діаметрів всмоктуючого апарату), що сформувалася, відбувається формування потоку, який зберігається до закономірностей, характерних для моменту виходу зернової суміші. Для ділянки, що сформувалася, характерні висока величина радіальної складової швидкості, а також наявність нерівномірності течії, обумовлена кінцевим числом витків спіралі і законом їх профілізації.

Рух зернової суміші по спіралі і кожуху можна розглядати як окремий випадок руху в'язкого газу в криволінійному каналі постійної кривизни. Профіль каналу представлений на рис. 2.5.

Еквівалентний діаметр може бути вичислений по наступній залежності:

$$d_s = \frac{2 \left\{ (t \sin x_{cp} - e) \left[2(D_{ПЖ} - d_{ПВ}) - (t \sin x_{cp} - e) \operatorname{ctg} \alpha_\gamma \right] \right\} \sin \alpha_\gamma}{\sin(D_{ПЖ} - d_{ПВ}) + (t \sin x_{cp} - e) (1 - \cos \alpha_\gamma + \sin \alpha_\gamma)} \quad (2.4)$$

де $D_{ПЖ}$ - діаметр навивки спіралі; $d_{ПВ}$ - діаметр дроту спіралі; t - крок; x_{cp} - геометричний кут навивки спіралі на середньому діаметрі;

$$\operatorname{tg} x_{cp} = \frac{\pi(D_{ПЖ} + d_{ПВ})}{2t} \quad (2.5)$$

e - відстань між центрами навитої спіралі; α_γ - кут, що характеризує форму спіралі.

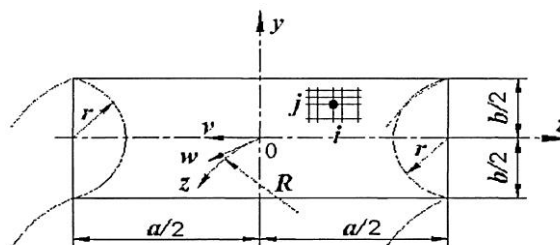


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема течії потоку між витками спіралі в каналі гнучкого спірального шнека.

Вивчення розподілу швидкостей і тиску зручно проводити на основі

рівнянь динаміки в'язкої рідини (рівнянь Нав'є - Стоксу). Припускаємо що масові сили постійні і має місце течія, що встановилася, з постійними фізичними властивостями і виконується умова $\dot{m} = const$ (т. е секундна масова витрата постійна). В цьому випадку система рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \rho F_x - \frac{\partial P_H}{\partial X} + 2 \frac{\partial}{\partial X} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial Z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial X} \right) \right] - \\ - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial X} (\mu \operatorname{div} v) = \rho \frac{du}{dt}; \\ \rho F_y - \frac{\partial P_H}{\partial Y} + \frac{\partial}{\partial X} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial Y} \right) \right] - \\ - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial Y} (\mu \operatorname{div} v) = \rho \frac{dv}{dt}; \\ \rho F_z - \frac{\partial P_H}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial X} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial X} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial Y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial Y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial Z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial Z} \right) - \\ - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial Z} (\mu \operatorname{div} v) = \rho \frac{dw}{dt}. \end{aligned} \right\} (2.6)$$

де u - проекція швидкості на вісь X , v - проекція швидкості на вісь Y , w - проекція швидкості на вісь Z .

До цих рівнянь приєднується рівняння нерозривності :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v) = 0 \quad (2.7)$$

чи

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial X} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial Y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial Z} = 0 \quad (2.8)$$

щоб отримати замкнуту систему рівнянь :

$$\rho \frac{d}{dt} \left(c_v T + \frac{v^2}{2} \right) = \rho F v + \operatorname{div}(P_H v) + \rho q \quad (2.9)$$

де q - питома кількість енергії, Дж/кг; C_v - коефіцієнт теплоємності газу при постійному об'ємі Дж/(кг град), з граничними умовами $u = v = w$ на стінці

$$v = \frac{\partial u}{\partial Y} = \frac{\partial w}{\partial Y} = 0 \text{ уздовж лінії симетрії (осі пружини).}$$

Систему рівнянь застосовують як початкову для досліджень повністю

розвиненої течії в'язкої рідини.

Для застосування чисельного методу сіток до розрахунку течій рівняння Нав'є - Стоксу призводять до зручнішого виду. Значення шуканих функцій представляють у вигляді просторово-часових точок і тоді після відповідних перетворень систему можна представити в різницевій формі:

$$\begin{aligned} & \frac{\Omega_{l,k}^{n+1} - \Omega_{l,k}^n}{\Delta t} + \frac{\Psi_{l,k+1}^n - \Psi_{l,k-1}^n}{2\Delta j} \frac{\Omega_{l+1,k}^n - \Omega_{l-1,k}^n}{2\Delta i} - \frac{\Psi_{l+1,k}^n - \Psi_{l-1,k}^n}{2\Delta i} \frac{\Omega_{l,k+1}^n - \Omega_{l,k-1}^n}{2\Delta j} = \\ & = v \left[\frac{\Omega_{l+1,k}^n - 2\Omega_{l,k}^n + \Omega_{l-1,k}^n}{(\Delta i)^2} + \frac{\Omega_{l,k+1}^n - 2\Omega_{l,k}^n + \Omega_{l,k-1}^n}{(\Delta j)^2} \right]; \quad (2.10) \\ & \frac{\Psi_{l+1,k}^{n+1} - 2\Psi_{l,k}^{n+1} + \Psi_{l-1,k}^{n+1}}{(\Delta i)^2} + \frac{\Psi_{l,k+1}^{n+1} - 2\Psi_{l,k}^{n+1} + \Psi_{l,k-1}^{n+1}}{(\Delta j)^2} = -\Omega_{l,k}^{n+1} \end{aligned}$$

де Ψ - функція потоку, Ω - функція вихору.

Для вивчення турбулентного руху замість фізичної в'язкості використовують турбулентний аналог. Гіпотеза постійності турбулентного перемішування неодноразово застосовувалася в завданнях турбулентного руху в океанах і річках. Прандтль для оцінки довжини шляху перемішування в 1942 р. запропонував нову теорію ґрунтуючись на напівемпіричних даних. В цьому випадку

$$\mu_T = k\rho b(u_{\max} - u_{\min}) \quad (2.11)$$

де k - деякий постійний коефіцієнт пропорціональності; b - ширина області турбулентного перемішування; u_{\max} та u_{\min} - максимальна і мінімальна швидкості в перерізі [26].

Рішення виконане за допомогою ЕОМ кінцеворазностним способом для сітки розмірністю 40×20 (рис.2.5). Формування повітряного потоку показане на послідовності малюнків 2.6-2.9(а, б), а формування потоку зерна і зернової суміші - 2.10 (а, б) і 2.11.

Досить чітко видиме, що при осьовому русі повітря в околиці центру зовнішньої стінки не з'являється вторинних вихорів. Проте при русі зерна в околиці центру зовнішньої стінки вторинні вихори виникають, що є зрозумілим, оскільки відомо, що течія в цій області нестійкий в силу відцентрової

нестійкості. Це явище відмічене і в роботах інших авторів.

Градiєнт тиску у напрямі осі ox в цій області позитивний, а відцентрова сила зменшується від максимального значення до нульового на зовнішній стінці. Нестійкість викликана дисбалансом між градієнтом тиску, спрямованим всередину відцентровою силою. І навпаки, течія в околиці внутрішньої стінки є стійкою. Профілі вторинних течій мають зворотну течію, що визначається в першу чергу формою каналу.

Вивчення зміни перепаду тиску і його розрахунок потрібні для чисельного розрахунку коефіцієнта тертя.

При дослідженні динамічних течій в'язкого газу в каналі пневмоспiрального конвеєра були отримані результати представлені наступними схемами:

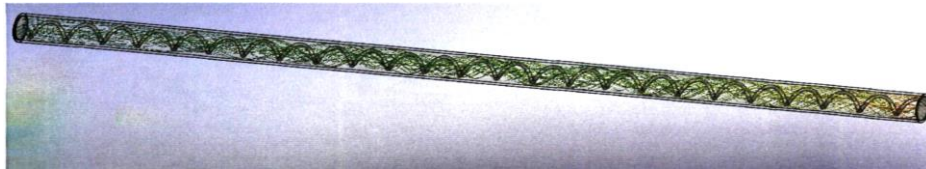
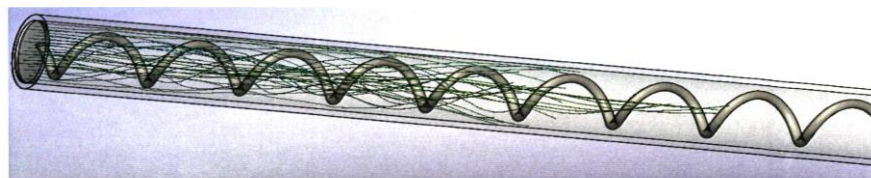
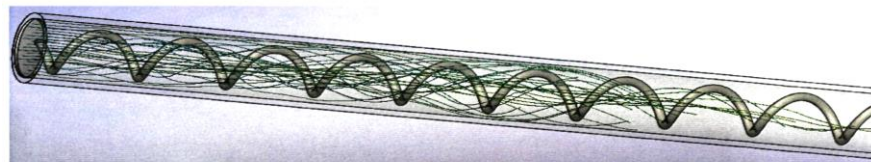


Рисунок 2.6 - Схема розподілу швидкостей повітряного потоку в робочому органі пневмоспiрального конвеєра.

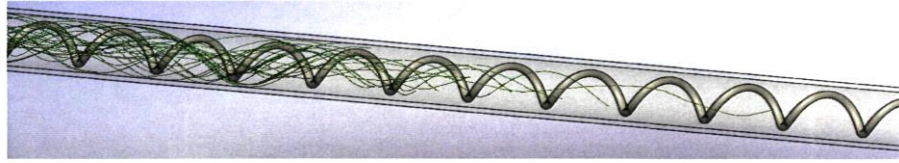


а

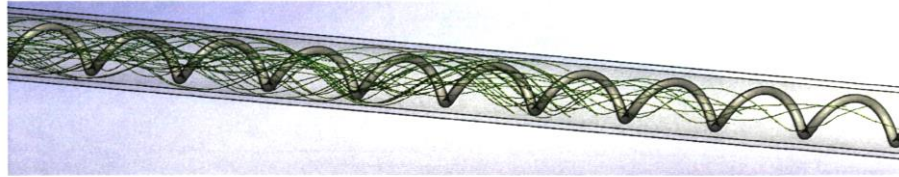


б

Рисунок 2.7 - Схема формування повітряного потоку на вході до гнучкого рукава

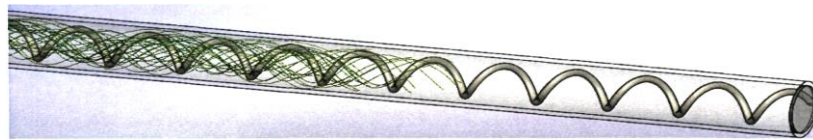


а

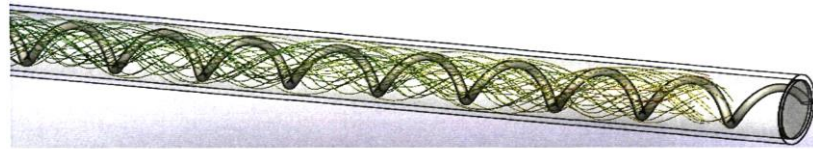


б

Рисунок 2.8 - Схема формування повітряного потоку у середині гнучкого рукава



а

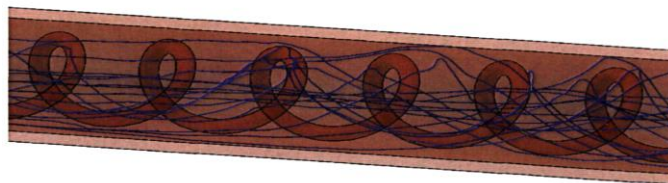


б

Рисунок 2.9 - Схема формування повітряного потоку біля виходу з гнучкого рукава.



а



б

Рисунок 2.10 - Схема руху потоку:
 а) зерна в кожусі спірального конвеєра(гнучкого шнека);
 б) зерна під впливом повітряного потоку в кожусі пневмоспірального конвеєра.

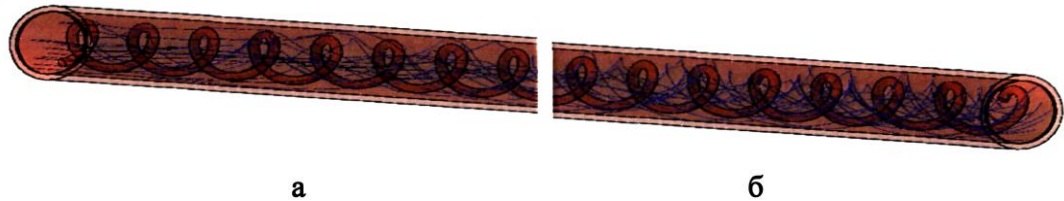


Рисунок 2.11 - Схема розподілу швидкостей потоку зерна в робочому органі пневмоспірального конвеєра : а - на виході; б - на вході

2.4 Диференціальні рівняння руху часток сипкого матеріалу

Одним з основних напрямів вдосконалення вантаження і переміщення яких-небудь матеріалів різною транспортуючою технікою є підвищення продуктивності.

У разі спірального конвеєра в результаті багаторічних досліджень були розглянуті питання залежності продуктивності від багатьох чинників:

$$Q = f(D_K^{BH}, d, s, \delta, \Delta, \gamma, n, w_M, f_{BH}, f_{\Pi}, f_K, f_{\Pi K}, \rho, K_F, K_v, \nu, K_f, K_{FЖ}) \quad (2.12)$$

де D_K^{BH} - внутрішній діаметр кожуха(гнучкого рукава); d - діаметр спіралі; δ - діаметр дроту спіралі; Δ - проміжок між зовнішньою поверхнею витків спіралі і внутрішньою поверхнею кожуха; γ - кут нахилу транспортуючого пристрою до вертикалі; n - частота обертання спіралі; w_M - вологість переміщуваного матеріалу; f_{BH} - коефіцієнт внутрішнього тертя переміщуваного матеріалу; f_{Π} - коефіцієнт тертя переміщуваного матеріалу об поверхню дроту спіралі; f_K - коефіцієнт тертя переміщуваного матеріалу об поверхню кожуха; $f_{\Pi K}$ - коефіцієнт тертя дроту спіралі об внутрішню поверхню кожуха; ρ - щільність переміщуваного матеріалу; K_F - коефіцієнт наповнення кожуха матеріалом; K_v - коефіцієнт осьового відставання переміщуваного матеріалу від осової швидкості гвинтової поверхні спіралі; K_f - коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу витка дроту спіралі робочого органу; $K_{FЖ}$ - коефіцієнт, залежний від форми поперечного перерізу жолоба; ν - в'язкість

переміщуваного матеріалу та ін.

У пневмоспиральному конвеєрі спільно із спіраллю на матеріал впливають швидкість повітря на вході (у завантажувальній пристрої) і тиск повітряного потоку (у гнучкому рукаві) створювані пневмосистемою.

Для теоретичного дослідження роботи пневмоспирального конвеєра представимо геометричні розміри робочого органу (рис. 2.12). Гвинтова лінія спіралі обертається з кутовою швидкістю ω навколо осі oz , причому частка матеріалу M рухається зі швидкістю $U_{z..m}$ уздовж осі oz .

Першопричиною і основою для можливості осьового переміщення матеріалу є зона Π_2 , в якій переміщається близько 15 % усієї маси зерна. Ця зона робить безпосередній вплив на робочий процес гвинтової поверхні спіралі, що обертається; що дозволяє розглядати характер руху частки матеріалу M по аналогії із спіральними конвеєрами (шнеками), приймаючи при цьому режим руху таким, що встановився. У зоні Π_3 переміщається основна маса зерна, щільність якої з урахуванням дії повітря з насінням буде

$$\rho_M = \rho_3(1 - \varepsilon) \quad (2.13)$$

де ε - пористість шару.

Осі ox , oy , oz утворюють нерухому декартову систему координат φ , r_{cp} , z - циліндрична система координат. Рівняння гвинтової лінії, яку описує частка M при русі по спіралі (рис. 2.12) мають наступний вигляд:

$$x = r_{cp} \cos \varphi; \quad y = r_{cp} \sin \varphi; \quad z = a\varphi \quad (2.14)$$

де $a = r_{cp} \operatorname{tg} \alpha$; r_{cp} - середній радіус спіралі.

З урахуванням конструктивних особливостей робоча площа поперечного перерізу кожуха визначається по рівнянню:

$$A_p = K_o \frac{\pi}{4} \left((D_p^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \quad (2.15)$$

де D_p^{BH} - внутрішній діаметр гнучкого кожуха; δ - товщина дроту; K_o - коефіцієнт враховує перекриття робочого перерізу зі збільшенням частоти

обертання спіралі ($K_o \leq 1$); α - кут нахилу гвинтової лінії (спіралі).

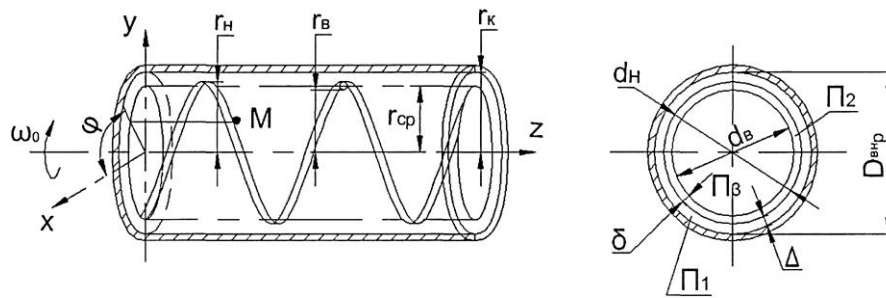


Рисунок 2.12 - Геометричні розміри робочого органу в подовжньому і поперечному перерізах. D_p^{BH} - внутрішній діаметр гнучкого кожуха; d_B - внутрішній діаметр спіралі; d_H - зовнішній діаметр спіралі; δ - діаметр дроту; r_B - внутрішній радіус спіралі; r_H - зовнішній радіус спіралі; r_{cp} - середній радіус спіралі; Δ - проміжок між спіраллю і кожухом; r_k - внутрішній радіус кожуха

$$\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi r_{cp}} \quad (2.16)$$

Пропонувалися різні формули визначення продуктивності спіральних конвеєрів. Матеріал, переміщуваний пневмоспіральним конвеєром, знаходиться в дуже складних умовах і вивчення руху часток матеріалу є важкою проблемою як для експериментальних, так і теоретичних досліджень. Для визначення його продуктивності в якості базової скористаємося наступною формулою :

$$Q = k_{II} A_p v_{z.m} \rho_m, \text{ (кг/с)} \quad (2.17)$$

де k_{II} - коефіцієнт продуктивності, абстрактне число [26, 35]; $v_{z.m}$ - осьова швидкість матеріалу, м/с; A_p - робоча площа поперечного перерізу кожуха, м²; ρ_m - щільність маси зерна, кг/м³.

Розглянемо взаємодію спіралі і повітряного потоку з масивом зерна в завантажувальному вікні конвеєра.

Представимо систему рівнянь стосовно умов транспортування із зернового насипу.

Оскільки при раніше проведених дослідженнях спірального конвеєра було встановлено, що продуктивність зі збільшенням кута нахилу огорожної ділянки

до горизонту зменшується, то конвеєр досягатиме максимальної ефективності при горизонтальному розташуванні завантажувального пристрою.

Під час вантаження зерна з насипу при обертанні спіралі до кожної частки матеріалу (рис. 2.13), що транспортується, будуть прикладені наступні сили:

- нормальна реакція похилої поверхні спіралі - F_{Π} ;

- сила тертя матеріалу об дріт: $F_{TP}^{\Pi} = f_n F_{\Pi}$;

- дотична сила інерції: $F_{ки} = mr \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$;

- аксіальна сила інерції: $F_a = ma \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$

де $a = S/2\pi$ - параметр конвеєра;

- відцентрова сила інерції в переносному русі: $F_{ун} = m\omega_0^2 r$;

- відцентрова сила інерції у відносному русі: $F_{цо} = mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2$;

- нормальна реакція маси зерна - F_3 ;

- сила тертя частки матеріалу в масі зерна: $F_{mp}^3 = f_3 F_3$;

- сила, що враховує Коріолісове прискорення частки: $F_{кр} = 2m\omega_0 r \frac{d\varphi}{dt}$.

Спроекувавши ці сили на відповідні осі отримаємо диференціальні рівняння, що описують рух частки, що спирається на гвинтову поверхню і притиснута по середньому радіусу спіралі в зерновому насипі :

$$\left. \begin{aligned} F_{\Pi} \cos \alpha - f_{\Pi} F_{\Pi} \sin \alpha - ma \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) - f_3 F_{3GG} \sin \beta &= 0 \\ G \sin \varepsilon + f_3 F_3 \cos \beta - f_{\Pi} F_{\Pi} \cos \alpha - F_{\Pi} \sin \alpha - mr \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= 0 \\ G \cos \varepsilon + mr \omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - F_3 - 2m\omega_0 r \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

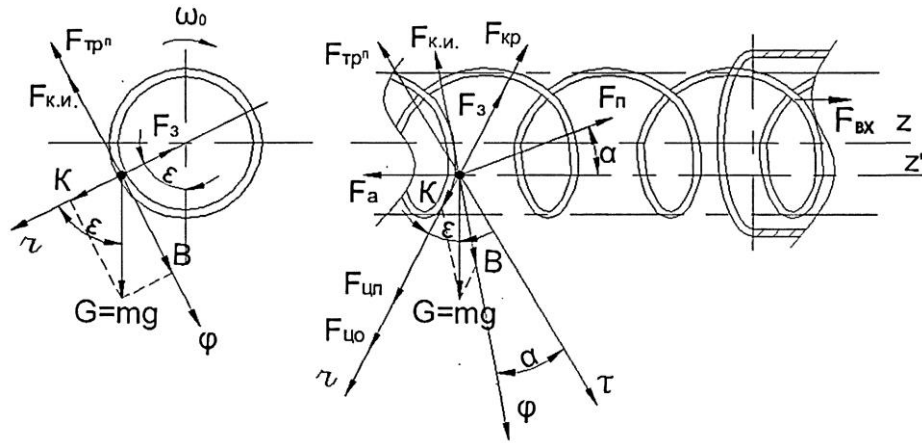


Рисунок 2.13 - Схема сил, прикладених до матеріальної частки в горизонтальному положенні гнучкого спірального шнека при завантаженні матеріалу з насипу.

Рішення системи диференціальних рівнянь (2.18) в загальному вигляді виключається. Проведені раніше дослідження гвинтових і спіральних конвеєрів показують, що період несталого руху є короткочасним і по витіканню декількох секунд або часток секунди рух стає стійким, з постійними значеннями середньої осьової швидкості руху матеріалу $v_{z,м.ср}$ і абсолютній кутовій швидкості обертального руху. Використовуючи результати проведених раніше досліджень допускаємо постійність швидкостей руху для пружинно-транспортуючих робітників органів.

Спираючись на проведені раніше дослідження розглянемо схему розподілу швидкостей руху матеріальної частки по гвинтовій поверхні спіралі в завантажувальному вікні (рис. 2.14).

Вектор абсолютної швидкості є геометричною сумою векторів переносного і відносного швидкостей руху

$$\bar{v}_{a.м} = \bar{v}_{n.м} + \bar{v}_{o.м} \quad (2.19)$$

Переносна швидкість визначається з вираження:

$$\bar{v}_{n.м} = \omega_0 r \quad (2.20)$$

На напрям вектору абсолютної швидкості матеріалу роблять вплив умови взаємодії між шарами (за рахунок внутрішнього тертя і в'язкості), їх осьове і радіальне ковзання, які викликаються зміною осьової

$$v_{z.m} = v_{a.m} \sin \beta \quad (2.21)$$

і окружний $v_{ок.м} = v_{a.m} \cos \beta$ швидкостей матеріалу. (2.22)

Згідно з теоремою синусів абсолютна швидкість руху

$$v_{a.m} = \frac{\omega_0 r \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (2.23)$$

Визначимо кутову швидкість відносного руху матеріальної частки

$$\omega' = \frac{d\varphi}{dt} \text{ через кут } \beta.$$

З малюнка 2.14. маємо $\sin \beta = \frac{\lambda \frac{d\varphi}{dt}}{v_{a.m.}}$ (2.24)

З рівняння виходить $\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\sin \beta v_{a.m.}}{\lambda}$ (2.25)

Підставляючи значення з рівняння 2.23 в 2.25, маємо

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\omega_0 r \sin \alpha \sin \beta}{\lambda \sin(\alpha + \beta)} \quad (2.26)$$

Після відповідних заміни і перетворень отримаємо рівняння, по якому можуть бути знайдені конкретні значення кута β залежно від кута повороту частки по кожуху ε для спірального конвеєра :

$$\frac{\omega_0^2 r^3 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta}{\lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta)} - \frac{2\omega_0^2 r^2 \sin \alpha \sin \beta}{\lambda \sin(\alpha + \beta)} + r\omega_0^2 = g \cos \varepsilon - \frac{g \sin \varepsilon (\cos \alpha - f_n \sin \alpha)}{f_3 [f_n \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} \quad (2.27)$$

Для отримання рівняння осьової швидкості переміщення матеріалу спіральним конвеєром (положення I мал. 2.14) замінимо в рівнянні 2.21 величину абсолютної швидкості з 2.23, отримаємо

$$v_{z.m} = \frac{\omega_0 r \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \text{ (м/с)} \quad (2.28)$$

Аналіз рівняння 2.27 показує, що кут між векторами відносної і абсолютної

швидкостей руху матеріальної частки β залежить від режимних параметрів роботи. За загальноприйнятою методикою [6], як би не було велике значення ω_0 вважається, що середня величина кута β для горизонтального і похилого положень не перевищує значення по формулі:

$$\beta_{cp} \leq 90^\circ - (\alpha + \varphi_{II}). \quad (2.29)$$

Для отримання диференціальних рівнянь що описують рух частки зерна на вході в гнучкий рукав пневмоспірального конвеєра, необхідно врахувати силу дії повітря на шар матеріалу, що транспортується :

$$F_{BX} = p_D A_p, \text{ (Па)} \quad (2.30)$$

де p_D - динамічний тиск, тиск необхідний для повідомлення швидкостей зерна і повітря, Па [25].

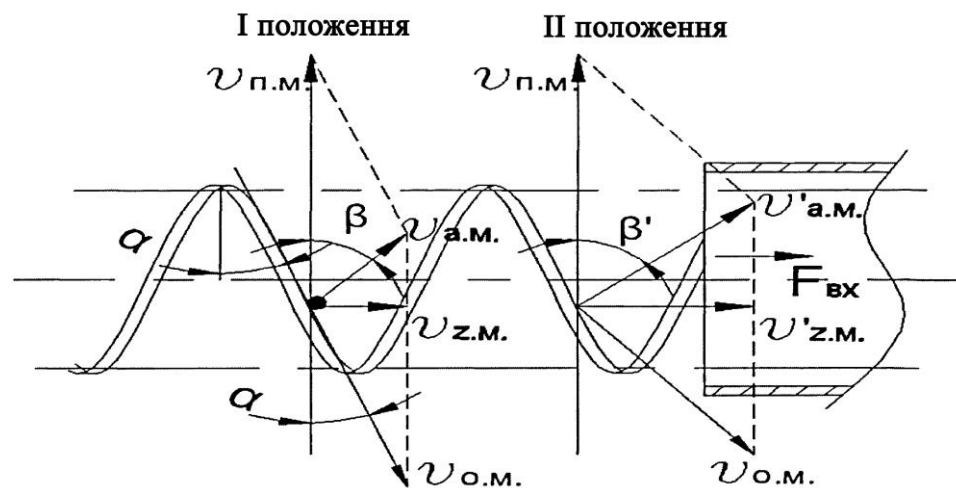


Рисунок 2.14 - Схема руху матеріальної частки в завантажувальному пристрої:
 β - кут між напрямом векторів абсолютної і переносної швидкостей частки

$$p_D = 0,5 \rho_B v_{BX}^2 (1 + 0,72 \mu), \text{ (Па)} \quad (2.31)$$

де v_{BX} - швидкість повітряного потоку на вході, м/с; μ - коефіцієнт вагової концентрації; ρ_B - щільність повітря, кг/м³.

Тоді диференціальні рівняння, що описують рух частки в завантажувальному вікні, наберуть вигляду

$$\left. \begin{aligned} F_{II} \cos \alpha - f_{II} F_{II} \sin \alpha - ma \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) - f_3 F_3 \sin \beta' + p_{Д} A_p &= 0 \\ G \sin \varepsilon + f_3 F_3 \cos \beta' - f_{II} F_{II} \cos \alpha - F_{II} \sin \alpha - mr \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= 0 \\ G \cos \varepsilon + mr \omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - F_3 - 2m\omega_0 r \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

допускаючи що $\frac{d\varphi}{dt} = const$, $\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = 0$, знаходимо F_3 і F_{II} :

$$F_{II} = \frac{mg \sin \varepsilon \sin \beta' + p_{Д} A_p \cos \beta'}{f_{II} \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')} \quad (2.33)$$

$$F_3 = \frac{(mg \sin \varepsilon \sin \beta' + p_{Д} A_p \cos \beta')(\cos \alpha - f_{II} \sin \alpha)}{f_3 \sin \beta' [f_{II} \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')]} + \frac{p_{Д} A_p}{f_3 \sin \beta'} \quad (2.34)$$

Підставляючи в третє рівняння системи (2.32) значення F_3 з рівняння (2.34), і враховуючи (2.26) маємо:

$$\begin{aligned} &\frac{m\omega_0^2 r^3 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta'}{\lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta')} - \frac{2m\omega_0^2 r^2 \sin \alpha \sin \beta'}{\lambda \sin(\alpha + \beta')} + mr\omega_0^2 + mg \cos \varepsilon - \\ &- \frac{(mg \sin \varepsilon \sin \beta' + p_{Д} A_p \cos \beta')(\cos \alpha - f_n \sin \alpha)}{f_3 \sin \beta' [f_n \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')]} + \frac{p_{Д} A_p}{f_3 \sin \beta'} = 0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

Як видно з рівняння 2.35 кут β' величина змінна також і для пневмоспірального конвеєра.

Тоді отримаємо рівняння осьової швидкості переміщення матеріалу у пневмоспірального конвеєра (положення II малюнок 2.14 і 2.15)

$$v'_{z.m} = \frac{(\omega_0 r + v_{BX} K_c K_{na}) \sin \alpha \sin \beta'}{\sin(\alpha + \beta')}, \quad (\text{м/с}) \quad (2.36)$$

де K_{na} - коефіцієнт парусності [129]; K_c - коефіцієнт місцевих опорів [42, 72].

Звідси швидкість повітряного потоку на вході буде:

$$v_{BX} = \frac{v'_{z.m} \sin(\alpha + \beta') - \omega_0 r \sin \alpha \sin \beta'}{K_c K_T \sin \alpha \sin \beta'}, \quad (\text{м/с}). \quad (2.37)$$

Як випливає з рівняння 2.36, осьова швидкість переміщення матеріалу також не є постійним значенням і змінюється залежно від кута β' , який може бути знайдений з рівняння 2.35 залежно від кута підйому частки по перерізу і від режимних параметрів роботи. І з урахуванням тиску повітряного потоку може перевищувати значення по умові 2.29. В результаті цього зменшиться розкидання матеріалу і продуктивність пневмоспірального конвеєра підвищиться.

Для розрахунку продуктивності доцільно ввести середній кут β'_{cp} . Тоді продуктивність пневмоспірального конвеєра буде:

$$Q = K_L K_{II} \rho_s (1 - \varepsilon) \times K_o \frac{\pi}{4} \left((D_p^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \frac{(\pi n r / 30 + v_{BX} K_c K_{IIc}) \sin \alpha \sin \beta'_{cp}}{\sin(\alpha + \beta'_{cp})} \quad (2.38)$$

Теоретичним аспектам руху матеріальної частки усередині кожуха при похилому положенні пружинно - транспортуючого робочого органу різними авторами присвячений ряд проведених раніше досліджень. Проте на відміну від основних принципів взаємозв'язку конструктивних і режимних параметрів вказаних цими роботами у разі переміщення матеріалу пневмоспіральним конвеєром, необхідно врахувати, що на частку матеріалу спільно з силами від спірального шнека діє тиск повітряного потоку.

При похилому положенні робочого органу, коли вісь складає кут γ з вертикаллю, вагу частки G можна розкласти на два вектори, в аксіальному am і радіальному ac напрямках, а радіальне, у свою чергу, можна розкласти по дотичній до кожуха ab і по нормалі до кожуха ak (мал. 2.16).

Згідно рис. 2.16, маємо:

$$\begin{aligned} \bar{G} &= a\bar{c} + a\bar{m}; & a\bar{c} &= a\bar{b} + ak; \\ ac &= G \sin \gamma; & am &= G \cos \gamma; \\ ab &= G \sin \gamma \sin \varepsilon; & ak &= G \sin \gamma \cos \varepsilon \end{aligned} \quad (2.39)$$

Для різних положень частки залежно від величини кута відхилення ε ,

значення сил, нормальних і дотичних до кожуха будуть різними.

На рис. 2.16. зображена частка в положенні а з вказівкою усіх прикладених до нього сил, притиснута до кожуха при похилому положенні спірального робочого органу.

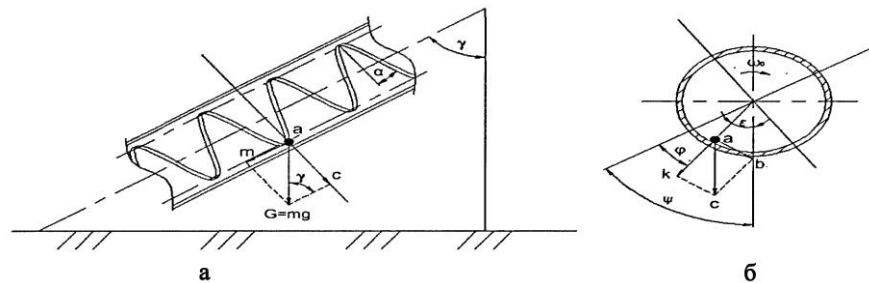


Рисунок 2.15 - Схема розкладання ваги частки по нормальній до осі, і вертикальній площині перерізу кожуха : а - переріз нормальний до осі робочого органу і, б - переріз по вертикальній площині; ε - кут підйому частки від нижчого положення в кожусі.

До частки прикладені наступні сили:

- нормальна реакція похилої поверхні спіралі - F_{Π} ;
- сила тертя матеріалу об дрiт: $F_{\Pi}^f = f_n F_{\Pi}$;
- дотична сила інерції: $F_{ки} = mr \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$;
- аксіальна сила інерції: $F_a = m\lambda \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$, де λ - параметр конвеєра;
- відцентрова сила інерції в переносному русі:

$$F_{yn} = m\omega_0^2 r ;$$

- відцентрова сила інерції у відносному русі:

$$F_{yo} = mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 ;$$

- нормальна реакція кожуха робочого органу - F_k ;
- сила враховує Коріолісове прискорення частки: $F_{kp} = 2m\omega_0 r \frac{d\varphi}{dt}$;

- сила руху повітря за рахунок перепаду тиску в шарі матеріалу, що транспортується: $F_\delta = \Delta p A_p$.

Проектуючи ці сили на відповідні осі, по аналогії із спіральними шнеками отримаємо систему рівнянь (2.40):

$$\begin{aligned} \sum z &= F_\Pi \cos \alpha - f_\Pi F_\Pi \sin \alpha - ma \frac{d^2 \varphi}{d^2 t} - G \cos \gamma - f_K F_K \sin \beta + F_\delta = 0; \\ \sum \varphi &= G \sin \gamma \sin \varepsilon + f_K F_K \cos \beta - f_\Pi F_\Pi \cos \alpha - F_\Pi \sin \alpha - mr \frac{d^2 \varphi}{d^2 t} = 0; \\ \sum r &= G \sin \gamma \cos \varepsilon + mr \omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - F_K - 2m\omega_0 r \frac{d\varphi}{dt} = 0 \end{aligned} \quad (2.40)$$

Вчинивши необхідні заміни і перетворення знаходимо F_K і F_Π

$$F_\Pi = \frac{mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta) + \Delta p A_p \cos \beta}{f_\Pi \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)} \quad (2.41)$$

Після відповідних замін, знаходимо

$$\begin{aligned} F_K &= \frac{([mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)] + \Delta p A_p \cos \beta)(\cos \alpha - f_\Pi \sin \alpha)}{f_K \sin \beta [f_\Pi \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} - \\ &- \frac{mg \cos \gamma + \Delta p A_p}{f_K \sin \beta} \end{aligned} \quad (2.42)$$

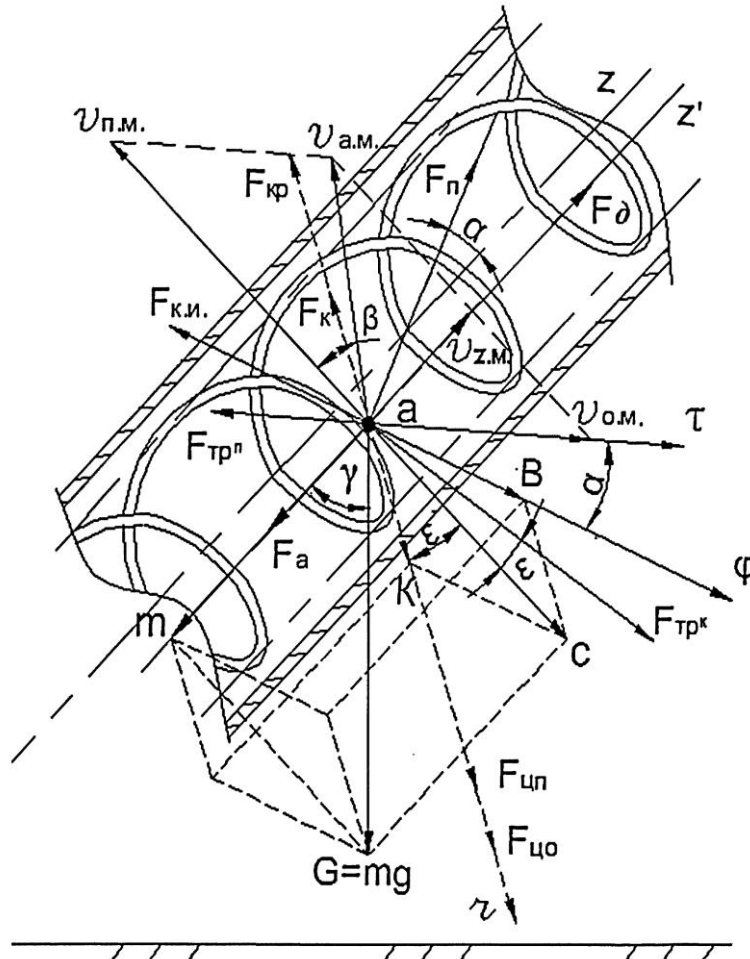


Рисунок 2.16 - Схема сил, прикладених до матеріальної частки, і розподіл її швидкостей руху в похилому положенні гнучкого спірального шнека у пневмоспирального конвеєра

Підставляючи значення F_K з рівняння (2.42), маємо

$$\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 mr - \frac{d\varphi}{dt} 2mr\omega_0 + mr\omega_0^2 + mg \sin \gamma \cos \varepsilon + \frac{mg \cos \gamma + \Delta p A_p}{f_K \sin \beta} - \frac{[(mg \sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - mg \cos \gamma \cos \beta) + \Delta p A_p \cos \beta](\cos \alpha - f_{II} \sin \alpha)}{f_K \sin \beta [f_K \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} = 0 \quad (2.43)$$

З метою рішення цього рівняння відносно кута β , підставляємо значення кутової швидкості відносного руху матеріальної частки $\omega' = \frac{d\varphi}{dt}$; визначуваного з мал. 2.15., через кут β . По описаних вище графічних залежностях і формулах вчислену раніше кутову швидкість відносного руху частки

$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\omega_0 r \sin \alpha \sin \beta'}{\alpha \sin(\alpha + \beta')}$, замінимо в рівнянні(2.43). Отримаємо:

$$\begin{aligned} & \frac{m\omega_0^2 r^3 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta'}{\lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta')} - \frac{2m\omega_0^2 r^2 \sin \alpha \sin \beta'}{\lambda \sin(\alpha + \beta')} + mr\omega_0^2 + \\ & + mg \sin \gamma \cos \varepsilon + \frac{mg \cos \gamma + \Delta p A_p}{f_K \sin \beta'} - \\ & - \frac{\left[(mg \sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta' - mg \cos \gamma \cos \beta') + \Delta p A_p \cos \beta' \right] (\cos \alpha - f_{II} \sin \alpha)}{f_K \sin \beta' [f_K \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')]} = 0 \end{aligned} \quad (2.44)$$

Аналіз рівняння 2.44 також показує, що усередині кожуха пневмоспірального конвеєра кут між векторами відносної і абсолютної швидкостей руху матеріальної частки β' при похилому положенні не є постійним, а залежить від режимних параметрів роботи. При цьому на нього матиме вплив тиск повітряного потоку. У зв'язку з цим значення кута β' вийдуть за межі встановлених обмежень (2.29).

Знайдемо критичну кутову швидкість з урахуванням дії повітря і частоту обертання:

$$\begin{aligned} \omega_{кр} = & \left\langle \left[\frac{(g \sin \varepsilon \sin \beta' + p_D A_p \cos \beta') (\cos \alpha - f_{II} \sin \alpha)}{f_3 \sin \beta' [f_{II} \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')]} + \frac{p_D A_p}{f_3 \sin \beta'} - \right. \right. \\ & \left. \left. - mg \cos \varepsilon \right] / \left[\frac{mr^3 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta'}{\lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta')} - \frac{2mr^2 \sin \alpha \sin \beta'}{\lambda \sin(\alpha + \beta')} + mr \right] \right\rangle^{1/2} \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi},$$

$$\begin{aligned} n_{кр} = & \left\{ 30 \left\langle \left[\frac{(g \sin \varepsilon \sin \beta' + p_D A_p \cos \beta') (\cos \alpha - f_{II} \sin \alpha)}{f_3 \sin \beta' [f_{II} \sin(\alpha + \beta') - \cos(\alpha + \beta')]} + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{p_D A_p}{f_3 \sin \beta'} - mg \cos \varepsilon \right] / \left[\frac{mr^3 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta'}{\lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta')} - \frac{2mr^2 \sin \alpha \sin \beta'}{\lambda \sin(\alpha + \beta')} + mr \right] \right\rangle^{1/2} \right\} / \pi \\ & (\text{мін}^{-1}) \end{aligned} \quad (2.46)$$

Осьова швидкість переміщення матеріалу усередині кожуха при похилому положенні гнучкого спірального шнека пневмоспірального конвеєра буде:

$$v''_{z.m} = \frac{\left(\omega_0 r + \sqrt{\frac{\Delta p K_C K_{PC}}{0,5 \rho_B (1 + 0,72 \mu)}} \right) \sin \alpha \sin \beta'}{\sin(\alpha + \beta')}, \text{ (м/с)} \quad (2.47)$$

Враховуючи отримані вище результати можна визначити продуктивність транспортування пневмоспірального конвеєра, т.е його здатність, що несе :

$$Q = K_L K_{II} \rho_3 (1 - \varepsilon) \times K_o \frac{\pi}{4} \left((D_p^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \times \frac{\left(\frac{\pi n r}{30} + \sqrt{\frac{\Delta p K_C K_{PC}}{0,5 \rho_B (1 + 0,72 \mu)}} \right) \sin \alpha \sin \beta'_{cp}}{\sin(\alpha + \beta'_{cp})} \quad (\text{кг/хв}) \quad (2.48)$$

де K_L , K_{II} і K_o - деякі коефіцієнти продуктивності, що враховують заповнення, швидкість руху, вид вантажу і довжину гнучкого спірального шнека; K_C і K_{PC} - деякі коефіцієнти швидкості, що враховують дію повітряного потоку з вантажем, що транспортується, і зміну траси.

Оцінка і аналіз отриманих формул(2.38 і 2.48) показав, що змінними, що значно впливають на продуктивність, є щільність зерна (ρ_3), тиск повітряного потоку (Δp) і частота обертання спірального шнека (n), конструктивні параметри гнучкого рукава і спіралі (D_p, r), а також коефіцієнти продуктивності і швидкості (K_L, K_{II} і K_o ; K_C і K_{PC}).

За теоретичними розрахунками побудовані графіки залежності продуктивності пневмоспірального конвеєра від частоти обертання спірального шнека і тиску повітряного потоку усередині гнучкого кожуха при транспортуванні зерна пшениці, проса і гороху (рис. 2.18 - 2.20). Аналіз графіків показує, що величина продуктивності пневмоспірального конвеєра, залежить від частоти обертання спіралі і по відношенню до n росте по параболічній залежності, а по відношенню до тиску повітряного потоку p , по залежності близько до прямолінійної з підвищенням частоти обертання.

2.5 Потужність, необхідна для приводу пневмоспирального конвеєра при транспортуванні зерна

Потужність, що витрачається на транспортування матеріалу пневмоспиральним конвеєром складається з суми потужностей, споживаних двигунами для приводу вентилятора і приводу спирального шнека

$$P_{\text{общ}} = \sum P = P_{\text{СП}}^{\text{ДВ}} + P_{\text{ПН}}^{\text{ДВ}} \quad (2.49)$$

Потужність, споживану спіраллю гнучкого шнека, можна представити у вигляді твору моменту, що крутить, і кутової швидкості обертання

$$P_{\text{СП}} = T_{\text{СП}} \omega_0 \quad (2.50)$$

де $\omega_0 = \frac{\pi n}{30}$

Момент спирального шнека, що крутить, знаходять по формулі:

$$T_{\text{СП}} = \sum F_c \frac{d_c}{2} \quad (2.51)$$

де $\frac{d_c}{2} = r \sin \alpha (\cos \alpha + \operatorname{tg} \varphi_{\text{П}})$ - траєкторія руху частки матеріалу;

$\sum F_c$ - сума сил що діють на цю частку.

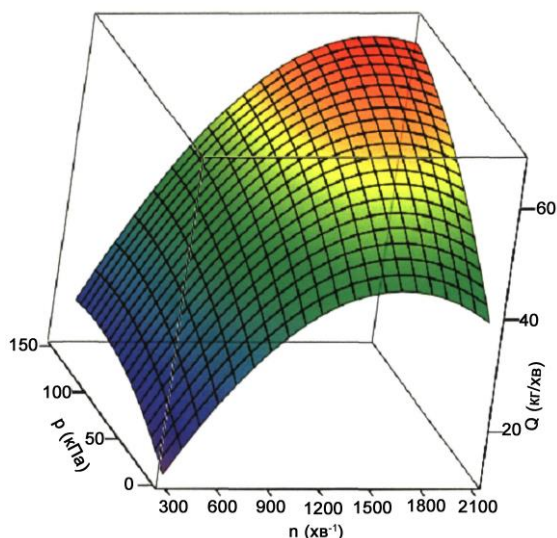


Рисунок 2.18 - Графік залежності продуктивності пневмоспирального конвеєра від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку при транспортуванні зерна пшениці (за теоретичним розрахунком)

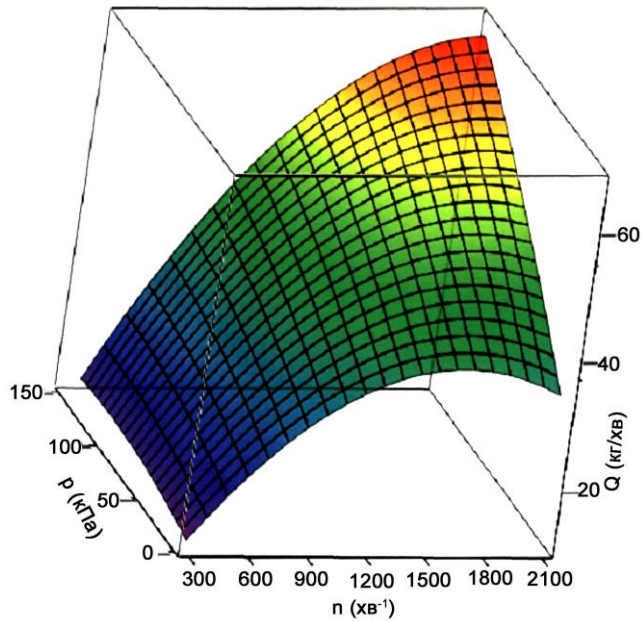


Рисунок 2.19 - Графік залежності продуктивності пневмоспирального конвеєра від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку при транспортуванні зерна проса (за теоретичним розрахунком)

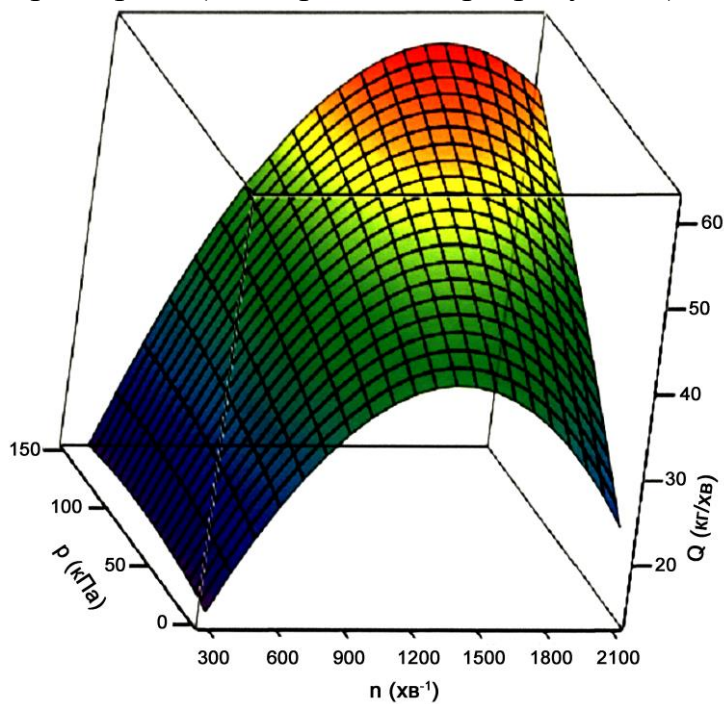


Рисунок 2.20 - Графік залежності продуктивності пневмоспирального конвеєра від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку при транспортуванні гороху (за теоретичним розрахунком)

Розглянемо схему руху матеріальної частки по гвинтовій поверхні спірального шнека, що знаходиться в похилому положенні рис. 2.21. Руху матеріалу перешкоджають наступні сили опору :

- сила тертя матеріалу об дріт: $F_{TP}^{\Pi} = f_{\Pi} F_{\Pi}$;
- сила тертя матеріалу об кожух: $F_{TP}^K = f_K F_K$;
- сила руху повітря за рахунок перепаду тиску в шарі матеріалу, що транспортується: $F_{\delta} = \Delta p A_p$;
- сила тяжіння: $G = mg$.

Спроектувавши ці сили на вісь z отримаємо:

$$\sum F_c = G \cos \gamma - \Delta p A_p + F_{TP}^K \sin \beta + F_{TP}^{\Pi} / \sin \alpha \quad (2.52)$$

Після відповідних заміन отримаємо:

$$\begin{aligned} \sum F_c = & mg \cos \gamma - \Delta p \frac{\pi}{4} \left((D_P^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) + \\ & + \left[\frac{([mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)] + \Delta p A_p \cos \beta)(\cos \alpha - f_{\Pi} \sin \alpha)}{f_{\Pi} \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)} - \right. \\ & \left. - mg \cos \gamma + \Delta p A_p \right] + \frac{mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta + \Delta p A_p \cos \beta)}{\sin \alpha [\sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} \end{aligned} \quad (2.53)$$

Після підстановки (2.53) в (2.51) знайдемо потужність необхідну спіральному шнеку для транспортування матеріалу

$$\begin{aligned} P_{СП} = & \left\{ mg \cos \gamma - \Delta p \frac{\pi}{4} \left((D_P^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) + \right. \\ & + \left[\frac{([mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)] + \Delta p A_p \cos \beta)(\cos \alpha - f_{\Pi} \sin \alpha)}{f_{\Pi} \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)} - \right. \\ & \left. - mg \cos \gamma + \Delta p A_p \right] + \frac{mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta + \Delta p A_p \cos \beta)}{\sin \alpha [\sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} \left. \right\} \times \\ & \times \frac{\pi n r \sin \alpha (\cos \alpha + tg \varphi_{\Pi})}{30} \end{aligned} \quad (2.54)$$

Потужність знімається з валу двигуна шнека

$$P_{СП}^{ДВ} = \frac{1,1 P_{СП}}{1000 \eta_{\Pi} \eta_{ПР}}, \text{ Вт} \quad (2.55)$$

де η_{Π} - ККД підшипників; $\eta_{\Pi\Pi}$ - ККД приводу.

Після підстановки отримаємо:

$$\begin{aligned}
 P_{СП}^{ДВ} = & 1,1 \left\langle \frac{\pi n r \sin \alpha (\cos \alpha + \operatorname{tg} \varphi_{\Pi})}{30} \left\{ mg \cos \gamma - \Delta p \frac{\pi}{4} \left((D_P^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) + \right. \\
 & + \frac{mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta) + \Delta p A_p \cos \beta}{\sin \alpha [\sin (\alpha + \beta) - \cos (\alpha + \beta)]} + \\
 & + \left[\frac{([mg (\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)] + \Delta p A_p \cos \beta) (\cos \alpha - f_{\Pi} \sin \alpha)}{f_{\Pi} \sin (\alpha + \beta) - \cos (\alpha + \beta)} - \right. \\
 & \left. \left. - mg \cos \gamma + \Delta p A_p \right] \right\rangle / 1000 \eta_{\Pi} \eta_{\Pi\Pi}, \quad (Вт)
 \end{aligned} \tag{2.56}$$

Потужність двигуна для приводу вентилятора витрачається на приведення матеріалу в псевдозріджений стан і на механічні втрати у вентиляторі і приводному пристрої.

Потрібну потужність електродвигуна встановлюють з 10% запасом на пусковий момент:

$$P_{\Pi\Pi}^{ДВ} = \frac{1,1 Q_{овв} p_H}{1000 \eta_1 \eta_2 \eta_3}, \quad (\text{кВт}) \tag{2.57}$$

де η_1 - к.к.д. вентилятора, η_2 - к.к.д. підшипників, η_3 - к.к.д. передачі, $Q_{овв}$ - об'ємна витрата повітря, м³/с.

$$Q_{овв} = A_p v_B \tag{2.58}$$

де A_p - площа поперечного перерізу труби, м²; v_B - швидкість повітряного потоку в заданому перерізі, м/с; p_H - повний натиск повітряного потоку, визначає усю його енергію і дорівнює сумі статичного і динамічного тисків, виміряних в одному і тому ж перерізі труби, Па :

$$p_H = p_D + p_C = p_D + p_T + p_M + p_3 + \Delta p_{\PiЖ}, \quad (\text{Па}) \tag{2.59}$$

де p_D - динамічний тиск повітряного потоку, цей тиск необхідний для повідомлення швидкостей матеріалу і повітря;

p_T - втрати тиску на тертя пилоповітряного потоку в шнеку з урахуванням

концентрації суміші;

p_M - втрати тиску в місцевому опорі;

p_3 - втрати тиску при перетині повітряним потоком рухливого шару зерна при підйомі на висоту.

Враховуючи постійність турбулентного перемішування і вважаючи течію таким, що встановилося (п. 2.3), гідравлічний опір псевдозрідженого шару можна визначити по формулі:

$$\Delta p_{ПЖ} = \frac{c \nu_0 L_p \mu_D (1 - \varepsilon)^2}{D_q^2 \Phi_S^2 \varepsilon^3}, \text{ (Па)} \quad (2.60)$$

де $c = 144 \dots 200$ - безрозмірний коефіцієнт; ε - середня пористість шару; μ_D - динамічний коефіцієнт в'язкості, кг*м/с; D_q - діаметр частки, м; Φ_S - чинник форми частки; ν_0 - швидкість повітря в трубі поза шаром, м/с; L_p - товщина псевдозрідженого шару, м, вважати рівним довжині гнучкого рукава.

Нехай $\Delta p_{ПЖ} = \Delta p$ - перепад тиску на вході і виході установки. Оскільки вентилятор всмоктує, то

$$\Delta p \leq \Delta p_{\max} = 0,2 \text{ атм.} \quad (2.61)$$

Тоді отримуємо обмеження на швидкість повітря в апараті

$$\nu_0 \leq \frac{\Delta p_{\max} D_q^2 \Phi_S^2 \varepsilon^3}{c L_p \mu_D (1 - \varepsilon)^2}, \text{ (м/с)} \quad (2.62)$$

Звідси видно, що із зростанням довжини гнучкого рукава L_p швидкість повітря ν_0 падатиме.

Тоді повний натиск повітряного потоку буде:

$$p_H = \left[(1 + 0,72\mu) + L_p \frac{\lambda_K}{d - d_{ПР}^H} \frac{\lambda_{ПР}}{d_{ПР}^{BH}} (1 + K\mu) + (\xi_K + \xi_{BP} + \xi_{BC} + \xi_{ПР}) (1 + K\mu) \right] \times \\ \times 0,5 \rho_B \left(\frac{\Delta p D_q^2 \Phi_S^2 \varepsilon^3}{c L_p \mu_D (1 - \varepsilon)^2} \right)^2 + \Delta p + A^* g \nu_B^n L_p \sin \sigma, \text{ (Па)}$$

де ρ_B - відповідно щільність повітря, кг/м³; μ - коефіцієнт масової

концентрації суміші; L_p - довжина гнучкого рукава, м; λ_K - коефіцієнт гідравлічного опору(тертя) кожуха; d - внутрішній діаметр труби, м; d_{PP}^H і d_{PP}^{BH} - зовнішній і внутрішній діаметри спіралі, м; λ_{PP} - коефіцієнт гідравлічного опору (тертя) спіралі; K - комплексний коефіцієнт; для трас з частими поворотами $K=1,4$; ξ_K - коефіцієнт опорів колін повороту; ξ_{BP} - коефіцієнт опорів раптового розширення; ξ_{BC} - коефіцієнт опорів раптового звуження; ξ_{PP} - коефіцієнт опорів спіралі. A^* і n^* - досвідчені коефіцієнти, залежні від культури, вологості і щільності зерна; $v_B^{n^*}$ - умовна швидкість повітря, віднесена до загальної площі поперечного перерізу шару, що продувається; σ - кут нахилу шнека.

Вчинивши необхідні заміни, визначимо потужність двигуна P_{PH}^{DB} для приводу вентилятора :

$$P_{PH}^{DB} = \left\langle \left\{ \left[(1 + 0,72\mu) + L_p \frac{\lambda_K}{d - d_{CH}^H} \frac{\lambda_{CH}}{d_{CH}^{BH}} (1 + K\mu) + (\xi_K + \xi_{BP} + \xi_{BC} + \xi_{CH}) \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \times (1 + K\mu) \right] \times 0,5\rho_B \left(\frac{\Delta p D_q^2 \Phi_s^2 \varepsilon^3}{c L_p \mu_d (1 - \varepsilon)^2} \right)^2 + \Delta p + A^* g v_B^{n^*} L_p \sin \sigma \right\} \times \\ \left. \times 1,1 \frac{\pi}{4} \left((D_p^{BH})^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) v_B \right\rangle / \eta_1 \eta_2 \eta_3, (Вт)$$

Аналіз рівняння (2.64) для визначення потужності необхідної приводу вентилятора показує, що вона витрачається на надання необхідної швидкості повітрю при необхідній продуктивності.

Висновки

На підставі теоретичних досліджень пневмоспірального конвеєра були отримані наступні результати:

1. Запропонована нова конструктивно-технологічна схема пневмоспірального конвеєра.

2. Розрахунок динамічних течій чисельним методом в криволінійному каналі дозволив побудувати схеми розподілу швидкостей повітряного потоку і потоку зерна в робочому органі пневмоспірального конвеєра. При аналізі виявлено утворення вторинних вихорів під час руху зерна в спіральному конвеєрі і встановлено, що при поєднанні процесів транспортування, в пневмоспіральному конвеєрі, вторинні вихори не з'являються.

3. Отримані аналітичні вирази для визначення продуктивності пневмоспірального конвеєра і критичної частоти обертання з урахуванням дії повітряного потоку; з аналітичних виразів отримані графіки залежності продуктивності від частоти обертання спірального шнека і тиску повітряного потоку для трьох видів вантажів : пшениці, проса, гороху.

4. Встановлено що: змінними, що значно впливають на продуктивність, є конструктивні(діаметр кожуха, діаметр і крок спіралі) і режимні параметри пневмоспірального конвеєра : частоти обертання спіралі(n) і тиску повітряного потоку(p); величина продуктивності, по відношенню до n росте по параболічній залежності, а по відношенню до тиску повітряного потоку p , по залежності близько до прямолінійної з підвищенням частоти обертання.

5. Визначена загальна потужність, що витрачається на транспортування матеріалу пневмоспіральним конвеєром, є поєднанням двох складових : потужність, споживану двигуном для приводу вентилятора і потужність для приводу спірального шнека.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою експериментальних досліджень було підтвердження отриманих в другій главі теоретичних положень; перевірка достовірності аналітичних виразів і формул; визначення основних фізико-механічних властивостей зерна пшениці, проса, гороху; набуття експериментальних значень оптимальних параметрів пневмоспірального конвеєра; перевірка у виробничих умовах ефективності застосування пневмоспірального конвеєра.

Відповідно до цього, методикою експериментальних досліджень було передбачено: вивчення фізико-механічних властивостей зерна пшениці, гороху, проса; дослідження впливу довжини спірального шнека на продуктивність пневмоспірального конвеєра; дослідження режимних параметрів пневмоспірального конвеєра в лабораторних умовах; підтвердження отриманих результатів у виробничих умовах.

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

При проведенні експериментальних досліджень визначали і контролювали фізико-механічні властивості зерна. Експеримент проводили на зразках зерна пшениці, проса, гороху.

Для вивчення робочого процесу, забезпечення достовірності експериментів і підтвердження теоретичних положень контролювали чотири основні фізико-механічні властивості: вологість, щільність, коефіцієнт тертя, швидкість витання.

Вологість, щільність, коефіцієнт тертя визначали по відомих методиках, швидкість витання зерна була узятa з довідкових даних.

Дослідження схожості зерна проводилися після транспортування установкою при максимальному значенні частоти обертання спіралі. З партії насіння відбирався середній зразок, з якого було узятo два навішування по 50 г,

далі з кожного навішування брали на проби по 100 насіння. Дія спіралі на зерно визначалася пророщуванням насіння на ложі, яке заздалегідь зволожувалося, а потім викладалося на нього насіння. Після проростання робився підрахунок не пророслого насіння. Результати показали, що розбіжності між двома вибірками не перевищували 5 %, що відповідає вимогам ДСТУ.

3.2 Фізико-механічні властивості вантажів

Фізико-механічні властивості вантажу є одним з основних чинників, що впливають на роботу пневмоспірального конвеєра. Зміни цих властивостей можуть викликати такі чинники, як вологість, тривалість зберігання, наявність сторонніх домішок, нормального тиск і т. п.

Об'єктом досліджень - зерно пшениці, проса, гороху. Ці матеріали узяті безпосередньо з виробничих умов. Досліджували щільність, коефіцієнти внутрішнього $f_{вн}$ і зовнішнього $f_{ст}$ тертя, швидкість витання $v_{кр}$. Дослідження проводилися по відомих методиках. Результати зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні властивості зерна

Фізико-механічні властивості	Позначення, розмірність	Пшениця	Просо	Горох
Щільність	ρ , кг/м ³	740...830	830...845	660...830
Вологість	$W_{вл}$, %	10,5...12	6,5...7	8,9...10,1
Коефіцієнт тертя зовнішнього: (по сталі)	$f_{ст}$	0,41...0,43	0,40...0,41	0,37...0,38
внутрішнього	$f_{вн}$	0,50...0,54	0,53...0,54	0,46... 0,5
Швидкість витання	$v_{кр}$, м/с	9...11,5	10...12	15,5...16,5

Аналіз фізико-механічних властивостей досліджуваних матеріалів показує, що найбільшу щільність має просо. На продуктивність установки великий вплив роблять коефіцієнт тертя і швидкість витання.

3.3 Результати досліджень впливу режимних параметрів на показники роботи пневмоспіральної установки

Експериментальні дослідження включали серію однофакторних експериментів по встановленню впливу зміни довжини спірального шнека l (м) і режимних параметрів на продуктивність Q (кг/мін) конвеєра. В якості основних режимних параметрів були вибрані частота обертання спіралі n і тиск повітряного потоку p , що створюється вентилятором усередині гнучкого рукава. Саме ці режимні параметри визначають фізичну картину процесу переміщення вантажу конвеєром.

Дослідження проводили на зерні пшениці, гороху, проса. Задавали 8 частот обертання спірального шнека: $n = 300 \text{ хв}^{-1}$; 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1700 хв^{-1} і змінювали тиск повітряного потоку p – 0кПа, 10, 68, 138 кПа при якому швидкість повітря біля завантажувального вікна v - 0м/с; 2,5; 4,3; 7,1 м/с.

3.4 Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспіральної установки при транспортуванні зерна пшениці

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити вплив частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку усередині кожуха на продуктивність конвеєра при роботі із зерном пшениці. В результаті обробки даних отримані залежності, які представлені на рис. 3.1 і 3.2.

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

$$Q = 0,076n - 2,184 \cdot 10^{-5}n^2 - 3,212 \text{ при } p = 138 \text{ кПа} \quad (3.1)$$

$$Q = 0,067n - 1,857 \cdot 10^{-5}n^2 - 3,13 \text{ при } p = 68 \text{ кПа} \quad (3.2)$$

$$Q = 0,062n - 1,763 \cdot 10^{-5}n^2 - 2,782 \text{ при } p = 10 \text{ кПа} \quad (3.3)$$

$$Q = 0,068n - 2,093 \cdot 10^{-5}n^2 - 9,206 \text{ при } p = 0 \text{ кПа} \quad (3.4)$$

Аналіз отриманих залежностей (3.1)...(3.4) показує, що підвищення

продуктивності при збільшенні частоти обертання спірального шнека має місце як без подання повітря, так і при усіх значеннях тиску повітряного потоку (див. рис. 3.1), що набувають. Результати експериментальних даних і залежності продуктивності пневмоспірального конвеєра від частоти обертання свідчать про те, що основними рушійними силами є сили спірального шнека, що впливають на зернову масу. Зростання продуктивності спостерігається також при збільшенні тиску повітряного потоку.

Рівняння, що описують залежність продуктивності установки від тиску повітряного потоку, мають вигляд:

$$Q = 0,194p - 5,324 \cdot 10^{-4} p^2 + 45,645 \text{ при } n = 1700 \text{ хв}^{-1} \quad (3.5)$$

$$Q = 0,186p - 5,623 \cdot 10^{-4} p^2 + 47,698 \text{ при } n = 1400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.6)$$

$$Q = 0,093p - 1,212 \cdot 10^{-4} p^2 + 47,127 \text{ при } n = 1200 \text{ хв}^{-1} \quad (3.7)$$

$$Q = 0,98p - 1,181 \cdot 10^{-4} p^2 + 38,985 \text{ при } n = 1000 \text{ хв}^{-1} \quad (3.8)$$

$$Q = 0,128p - 2,829 \cdot 10^{-4} p^2 + 30,169 \text{ при } n = 800 \text{ хв}^{-1} \quad (3.9)$$

$$Q = 0,114p - 2,212 \cdot 10^{-4} p^2 + 22,79 \text{ при } n = 600 \text{ хв}^{-1} \quad (3.10)$$

$$Q = 0,106p - 2,628 \cdot 10^{-4} p^2 + 16,095 \text{ при } n = 400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.11)$$

$$Q = 0,077p - 3,835 \cdot 10^{-4} p^2 + 13,422 \text{ при } n = 300 \text{ хв}^{-1} \quad (3.12)$$

При $n = 300 \text{ хв}^{-1}$ і тиску повітряного потоку 10 кПа спостерігається зростання Q на 37 % в порівнянні із спіральним конвеєром без подання повітря. При тій же частоті обертання і $p = 68 \text{ кПа}$ і $p = 138 \text{ кПа}$ спостерігається збільшення продуктивності на 1 і 6% відповідно, по відношенню до роботи транспортера з тиском в 10 кПа. В результаті продуктивність на 38 і 43% більше по відношенню до продуктивності конвеєра без роботи пневмосистеми.

Зі збільшенням частоти обертання спіралі продуктивність росте по залежності, близькій до прямопропорційної. Ця залежність спостерігається при усіх значеннях тиску повітряного потоку із зростанням частоти обертання спіралі. Проте максимальна Q відзначається при різних параметрах. Так, у

спірального конвеєра вона дорівнює 46 кг/мін при $n = 1260 \text{ хв}^{-1}$.

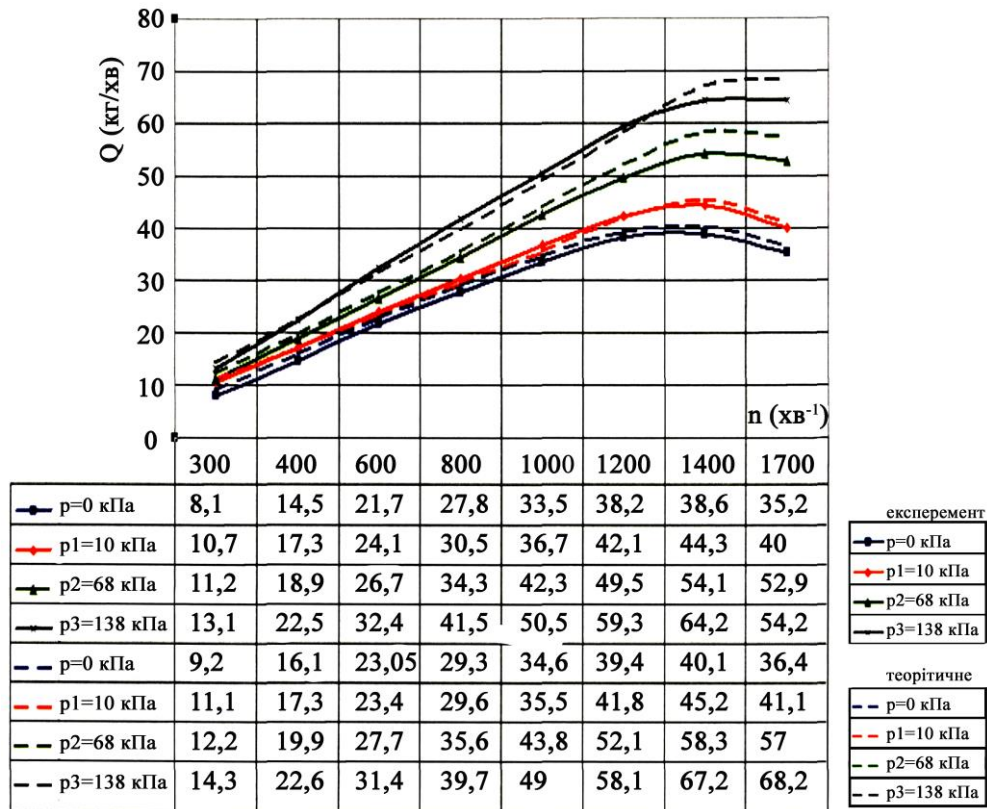


Рисунок 3.1 - Залежність продуктивності пневмоспіральній установці під час роботи із зерном пшениці від тиску повітряного потоку при різній частоті обертання спіралі

При подальшому збільшенні частоти обертання стійкість його роботи порушується і продуктивність знижується. У пневмоспірального конвеєра максимальна Q досягається при $p = 10 \text{ кПа} - 52 \text{ кг/хв}$ і $n = 1370 \text{ хв}^{-1}$, при $p = 68 \text{ кПа} - 57,5 \text{ кг/хв}$ и $n = 1410 \text{ хв}^{-1}$, при $p = 138 \text{ кПа} - 62,8 \text{ кг/хв}$ и $n = 1480 \text{ хв}^{-1}$. Подальше збільшення частоти обертання спірального шнека при усіх досліджуваних швидкостях потоку повітря сприяє зниженню продуктивності як і у спірального конвеєра. Такий вплив пояснюється поєднанням сил, що впливають на частку від потоку повітря і шнека. Як при малій частоті обертання спіралі, так і з її збільшенням зерно переміщується за рахунок рушійних сил спірального шнека. Рух його основної маси відбувається усередині спіралі, а пристеночная область майже не задіяна. При малих значеннях тиску повітряного потоку він майже не впливає на частки, оскільки є

присутнім великий опір руху (наявність складної траси) і в основній своїй масі зерно продовжує пересуватися під впливом спіралі. Зі збільшенням частоти обертання спіралі і одночасно із зростанням дії потоку повітря підвищується і кількість зерна, що поступає в спіральний шнек, що відбувається за рахунок їх спільної роботи при вантаженні з насипу, оскільки повітря допомагає притягнути зерно до спіралі, яка направить його всередину кожуха. При подальшому просуванні часток зменшується міжзернове тертя, тертя зерна об кожух і спіраль - зернова маса, усередині гнучкого рукава, приймає стан близький до псевдозрідженого. Таким чином, переміщуване зерно, завдяки дії повітряного потоку, менше прокручується усередині пружини, і одночасно починається рух часток з пристеночної області. Проте і продуктивність пневмоспірального конвеєра теж досягає свого максимуму, оскільки витки спіралі починають перекирвати переріз кожуха і відсікати матеріал, що поступає.

Збільшення частоти обертання з 300 до 400 (хв^{-1}) призводить до зміни Q при $p = 0 \text{ кПа}$ с 11,8 до 14,3 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 16,2 до 19,4 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 16,3 до 21,5 кг/хв, при $p = 138 \text{ кПа}$ с 16,8 до 25,9 кг/хв. З частотою обертання від 400 до 600 хв^{-1} призводить до зміни Q при $p = 0 \text{ кПа}$ с 14,3 до 20,9 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 19,4 до 26,3 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 21,5 до 28,9 кг/хв, при $p = 138 \text{ кПа}$ с 25,9 до 34,5 кг/хв. Коли частота обертання росте до 800 хв^{-1} продуктивність при $p = 0 \text{ кПа}$ змінюється з 20,9 до 28,6 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 26,3 до 33,4 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 28,9 до 37 кг/хв, при $p = 138 \text{ кПа}$ с 34,5 до 42,5 кг/хв. А при збільшенні частоти обертання до 1000 хв^{-1} при $p = 0 \text{ кПа}$ продуктивність змінюється с 28,6 до 37,6 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 33,4 до 41,7 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 37 до 44,6 кг/хв, и при $p = 138 \text{ кПа}$ с 42,5 до 50,3 кг/хв. Далі при зміні частоти обертання до 1200 хв^{-1} при $p = 0 \text{ кПа}$ продуктивність збільшується з 37,0 до 45,9 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 41,7 до 49,6 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 44,6 до 52,5 кг/хв, и при $p = 138 \text{ кПа}$ с 48,3 до 57,8 кг/хв. При підвищенні частоти обертання до 1400 хв^{-1} Q при $p = 0 \text{ кПа}$ починає

знижуватися с 45,9 до 45,8 кг/хв, в тоді як при при $p = 10$ кПа хв'ється с 49,6 до 51,9 кг/хв, при $p = 68$ кПа с 52,5 до 57,1 кг/хв и при $p = 138$ кПа с 57,8 до 62,8 кг/хв. Збільшення частоти обертання до 1700 хв-1 викликає зниження продуктивності при усіх значеннях тиску: при $p = 0$ кПа с 45,8 до 43,3 кг/хв, при $p = 10$ кПа с 51,9 до 50,5 кг/хв, при $p = 68$ кПа с 57,1 до 55,6 кг/хв, а при $p = 138$ кПа а с 62,8 до 62,5 кг/хв.

При подальшому збільшенні частоти обертання продуктивність конвеєра також знижується.

За результатами експериментальних досліджень було складено рівняння регресії, що достовірно описує характер зміни продуктивності при зміні режимних параметрів:

$$Q = 0,066n - 1,974 \cdot 10^{-5} n^2 + 0,079p - 3,105 \cdot 10^{-4} p^2 + 4,879 \cdot 10^{-5} pn - 7,023 \quad (3.13)$$

Графічно рівняння може бути представлене у формі поверхні відгуку (рис. 3.3). Поверхня відгуку, відбиваюча залежність продуктивності, від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку має форму, відому в літературних джерелах як «поверхню типу гребеня», що височіє. Інтерпретація поверхні відгуку дозволяє провести аналіз результатів досліджень. Із зростанням частоти обертання спірального шнека продуктивність спіральної установки зростає до певного значення, за яким йдуть стаціонарна область і подальше зниження. У пневмоспиральній установці зі збільшенням частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку продуктивність також зростає до певних значень. Проте стаціонарна область спостерігається при більш високих значеннях частоти обертання.

Аналіз поверхні відгуку вказує на те що, зі збільшенням частоти обертання спіралі продуктивність спіральної установки підвищується до певного значення п. Але подальше збільшення частоти обертання спірального конвеєра не призводить до зростання продуктивності. Це пояснюється тим, що в завантажувальному вікні спіральний шнек розкидає матеріал, що

транспортується, по сторонах, а усередині шнека його надмірно перемішує. У пневмоспірального конвеєра також відзначається максимальне значення продуктивності, після досягнення якого зростання вона не збільшується, але з певним зміщенням у бік збільшення частоти обертання.

Аналіз отриманих даних про продуктивність при транспортуванні зерна пшениці дозволяє знайти оптимальні режимні параметри роботи пневмоспірального конвеєра. З рис. 3.1...3.3 видно, що в заданих параметрах, максимальну продуктивність спіральний конвеєр досягає при що було підтверджено дослідженнями теоретичного аналізу літературних джерел, а у пневмоспірального конвеєра найвищі значення продуктивності були досягнуті при $p = 10 \text{ кПа}$ и $n = 1350 \text{ хв}^{-1}$ (52 кг/хв), при $p = 68 \text{ кПа}$ и $n = 1410 \text{ хв}^{-1}$ (57,5кг/хв) и при $p = 138 \text{ кПа}$ и $n = 1480 \text{ хв}^{-1}$ (63,5кг/хв).

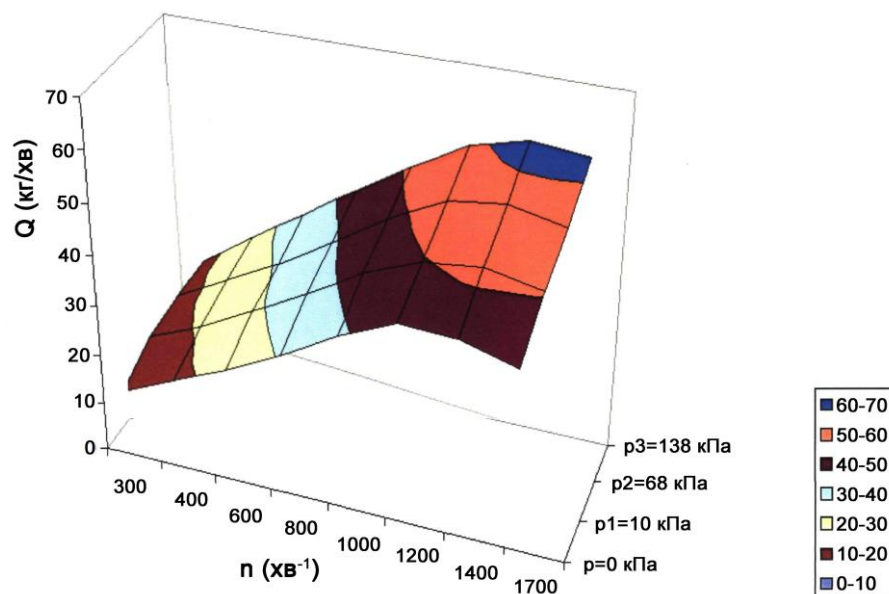


Рисунок 3.3 - Залежність продуктивності пневмоспіральної установки від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку при транспортуванні зерна пшениці

Проаналізувавши отримані дані, отримуємо режимні параметри пневмоспірального конвеєра, що забезпечують максимальну продуктивність при транспортуванні зерна пшениці:

$$p = 138 \text{ кПа}; n = 1450 \text{ хв}^{-1}; Q = 63,5 \text{ кг/хв}.$$

При роботі конвеєра з цими параметрами травмируемість досягає 8-9%.

Таким чином, встановлено, що при таких параметрах допустиме транспортування зерна, використовуваного для борошномельної промисловості і на кормові потреби в тваринництві (ГОСТ 52554 - 2006 і ГОСТ 9353 - 90).

3.5 Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспиральної установки при транспортуванні зерна проса

В результаті проведених експериментів і обробки даних отримані залежності продуктивності від режимних параметрів при роботі із зерном проса (рис. 3.4 і 3.5).

Рівняння, що описують залежність продуктивності від частоти обертання, мають вигляд:

$$Q = 0,057n - 9,675 \cdot 10^{-6} n^2 - 2,452 \text{ при } p = 138 \text{ кПа} \quad (3.14)$$

$$Q = 0,053n - 1,143 \cdot 10^{-5} n^2 - 2,941 \text{ при } p = 68 \text{ кПа} \quad (3.15)$$

$$Q = 0,059n - 1,832 \cdot 10^{-5} n^2 - 5,191 \text{ при } p = 10 \text{ кПа} \quad (3.16)$$

$$Q = 0,063n - 2,165 \cdot 10^{-5} n^2 - 7,828 \text{ при } p = 0 \text{ кПа} \quad (3.17)$$

При транспортуванні насіння проса спіральним конвеєром без потоку повітря в заданому інтервалі частот обертання шнека спостерігається певний максимум, після якого продуктивність починає зменшуватися. При підключенні пневмосистеми при усіх швидкостях повітря і тій же частоті обертання продуктивність росте в усьому даному частотному діапазоні.

Аналіз графічних залежностей продуктивності від частоти обертання спіралі при порівнянні роботи пневмоспирального конвеєра із спіральним показує, що основними рушійними силами є сили, що діють на зернову масу з боку спірального шнека. Потік повітря вирівнює ці сили, за рахунок чого продуктивність продовжує рости, чого не спостерігається при роботі звичайного спірального конвеєра.

Рівняння залежності продуктивності від тиску повітряного потоку:

$$Q = 0,299p - 6,938 \cdot 10^{-4} p^2 + 36,028 \text{ при } n = 1700 \text{ хв}^{-1} \quad (3.18)$$

$$Q = 0,24p - 4,926 \cdot 10^{-4} p^2 + 40,64 \text{ при } n = 1400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.19)$$

$$Q = 0,08p + 2,629 \cdot 10^{-5} p^2 + 39,683 \text{ при } n = 1200 \text{ хв}^{-1} \quad (3.20)$$

$$Q = 0,057p + 1,833 \cdot 10^{-4} p^2 + 30,948 \text{ при } n = 1000 \text{ хв}^{-1} \quad (3.21)$$

$$Q = 0,051p + 4,94 \cdot 10^{-5} p^2 + 27,548 \text{ при } n = 800 \text{ хв}^{-1} \quad (3.22)$$

$$Q = 0,063p - 1,062 \cdot 10^{-4} p^2 + 23,046 \text{ при } n = 600 \text{ хв}^{-1} \quad (3.23)$$

$$Q = 0,05p - 7,735 \cdot 10^{-5} p^2 + 15,079 \text{ при } n = 400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.24)$$

$$Q = 0,026p - 1,091 \cdot 10^{-5} p^2 + 9,693 \text{ при } n = 300 \text{ хв}^{-1} \quad (3.25)$$

При $n = 300 \text{ хв}^{-1}$ і тиску повітряного потоку 10 кПа спостерігається зростання продуктивності на 17% в порівнянні із спіральним конвеєром. При тій же частоті обертання і $p = 68 \text{ кПа}$ і $p = 138 \text{ кПа}$ відзначається підвищення продуктивності на 23 і 44 % відповідно. Підвищуючи частоту обертання до 400 і $p = 10 \text{ кПа}$ продуктивність збільшується по відношенню до спірального конвеєра на 13 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 24%, при $p = 138 \text{ кПа}$ досягає збільшення до 42%. Процентне співвідношення при $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ виглядає таким чином: при $p = 10 \text{ кПа}$ Q збільшується на 11%, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 18 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 31 %. При $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ збільшення Q буде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 3%, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 11%, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 27%. При $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ зростання Q йде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 6%, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 10%, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 29%.

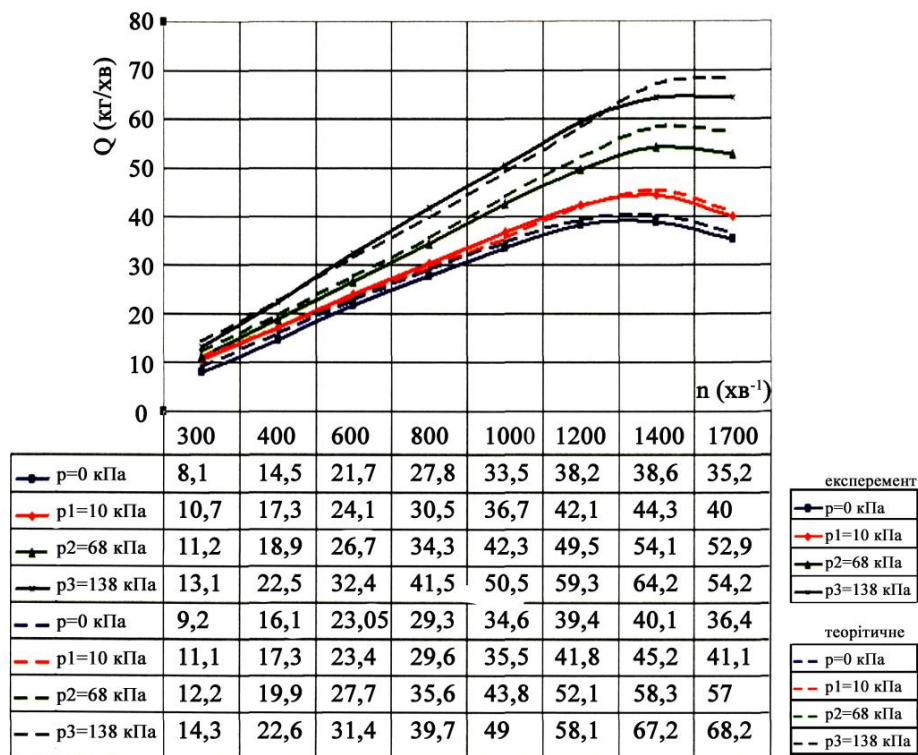


Рисунок 3.4 - Залежність продуктивності пневмоспіральної установки під час роботи із зерном проса від частоти обертання спіралі при різному тиску повітряного потоку

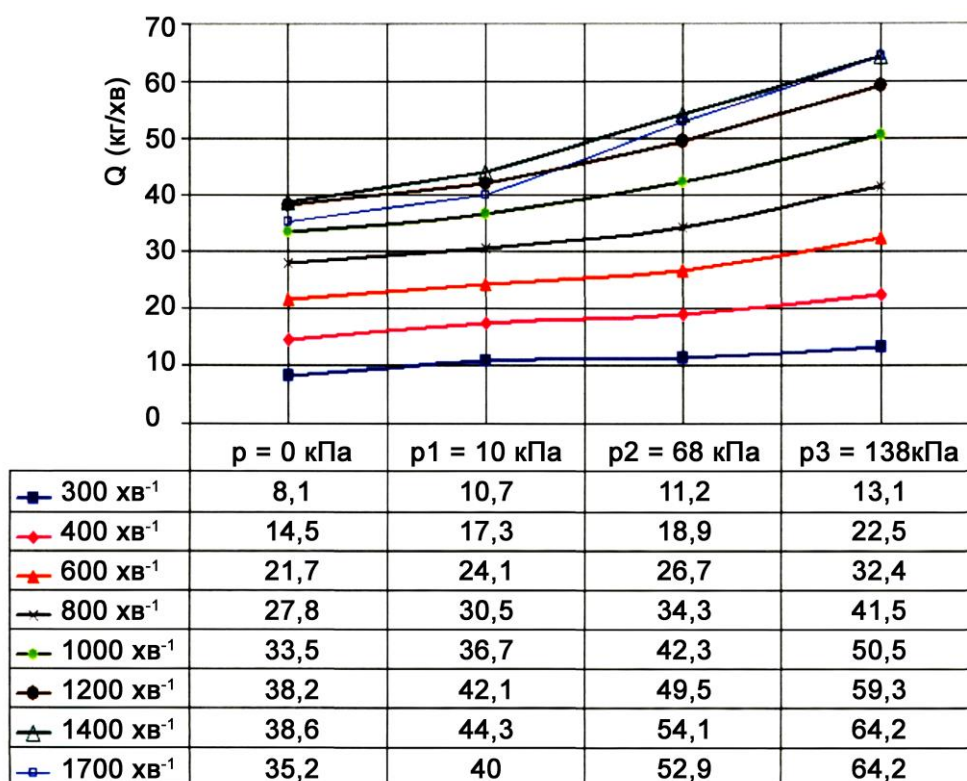


Рисунок 3.5 - Залежність продуктивності пневмоспіральної установки під час роботи із зерном проса від тиску повітряного потоку при різній частоті обертання спіралі

А потім при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ зростання Q йде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 5%, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 15 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 31 %, а при $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ зростання Q буде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 12 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 37 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 62%. При $n = 1700 \text{ хв}^{-1}$ зростання Q йде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 14%, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 50%, $p = 138 \text{ кПа}$ на 62 %.

Узагальнені результати досліджень по збільшенню продуктивності представлені в таблиці. 3.3.

Таблиця 3.3 - Підвищення продуктивності пневмоспірального конвеєра зі збільшенням тиску повітряного потоку при роботі із зерном проса, %

р, кПа	n, хв ⁻¹							
	300	400	600	800	1000	1200	1400	1700
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	17	13	11	3	6	5	12	14
68	23	24	18	11	10	15	37	50
138	44	42	31	27	29	31	62	62

Зі збільшенням частоти обертання спірального шнека з 300 до 1200 хв^{-1} в спіральному конвеєрі продуктивність росте по залежності, близькій до прямопропорційної (Рис. 3.6). Максимуму в 39,9 кг/мін вона досягає при $n = 1280 \text{ хв}^{-1}$. При подальшому збільшенні частоти обертання відбувається її зниження.

При роботі установки з підключеною пневмосистемою продуктивність також росте по залежності, близькій до прямопропорційної в усьому діапазоні частот обертання, але зниження її при подальшому збільшенні спостерігається при значному зміщенні значень у велику сторону. Так при $p = 10 \text{ кПа}$ и $n = 1410 \text{ хв}^{-1}$ $Q = 44,3 \text{ кг/хв}$, при $p = 68 \text{ кПа}$ и $n = 1460 \text{ хв}^{-1}$ $Q = 54,8 \text{ кг/хв}$, а при $p = 138 \text{ кПа}$ и $n = 1590 \text{ хв}^{-1}$ $Q = 65,4 \text{ кг/хв}$.

При малій частоті обертання дія від сил тиску повітряного потоку трохи, відбувається надмірне перемішування переміщуваної маси за рахунок дії на неї

спіралі. Зі збільшенням і дія на насіння проса спіралі зросте. Це видно з рівномірного збільшення продуктивності в усьому заданому діапазоні частот обертання до певного моменту, після чого спостерігається зниження. При спільній роботі спірального робочого органу і повітряного потоку також відзначається збільшення продуктивності до певних меж, після яких йде її зменшення. Це відбувається через те, що витки спіралі починають перекривати переріз кожуха біля входу в гнучкий рукав і відсікати матеріал, що поступає всередину.

Збільшення частоти обертання з 300 до 400 хв^{-1} призводить до зміни продуктивності за відсутності тиску потоку повітря з 9,1 до 14,5 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ с 10,7 до 16,3 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 11,2 до 17,9 кг/хв , при $p=138 \text{ кПа}$ с 13,1 до 20,5 кг/хв . Коли частота обертання зростає до 600 хв^{-1} , продуктивність при $p=0$ с 14,5 до 22,7 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ с 16,3 до 24,1 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 17,9 до 26,7 кг/хв , при $p=138 \text{ кПа}$ с 20,5 до 29,0 кг/хв . При зростанні частоти обертання до 800 хв^{-1} продуктивність при $p=0 \text{ кПа}$ змінюється с 22,7 до 27,2 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ с 24,1 до 28,5 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 26,7 до 31,1 кг/хв , и при $p=138 \text{ кПа}$ с 29,0 до 35,5 кг/хв . Коли частота обертання підвищиться до 1000 хв^{-1} продуктивність при $p=0 \text{ кПа}$ змінюється с 27,2 до 30,5 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ с 28,3 до 32,1 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 31,1 до 35,5 кг/хв , при $p=138 \text{ кПа}$ с 35,5 до 42,3 кг/хв . При зміні частоти обертання при 1200 хв^{-1} при $p=0 \text{ кПа}$ продуктивність з 30,5 до 39,2 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ з 32,1 до 41,1 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 35,5 до 45,1 кг/хв , и при $p=138 \text{ кПа}$ с 42,3 до 51,3 кг/хв . З підвищенням n до 1400 хв^{-1} зміна Q буде при $p=0 \text{ кПа}$ с 39,2 до 39,6 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ з 41,1 до 44,3 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ с 45,1 до 54,3 кг/хв и при $p=138 \text{ кПа}$ з 51,3 до 64,4 кг/хв . І при зростанні до 1700 хв^{-1} вона знижується при усіх параметрах тиску: при $p=0 \text{ кПа}$ с 39,6 до 35,2 кг/хв , при $p=10 \text{ кПа}$ с 44,3 до 40 кг/хв , при $p=68 \text{ кПа}$ з 54,3 до 52,9 кг/хв , а при $p=138 \text{ кПа}$ 64,2 кг/хв .

Проведені експериментальні дослідження з просом дозволили виявити характер зміни продуктивності і побудувати рівняння регресії, що описує характер її зміни:

$$Q = 0,05ln - 1,527 \cdot 10^{-5} n^2 - 7,102 \cdot 10^{-3} p - 1,494 \cdot 10^{-4} p^2 + 1,252 \cdot 10^{-4} pn - 3,332 \quad (3.26)$$

Графічно рівняння (3.26) може бути представлено у формі поверхні відгуку (Рис. 3.6). Інтерпретація, якій дозволяє провести аналіз результатів досліджень. Із зростанням частоти обертання спірального шнека продуктивність пневмоспирального конвеєра зростає до певного значення, після чого починає знижуватися. Зі збільшенням тиску повітряного потоку спостерігається також наростаюче збільшення продуктивності, але менш інтенсивне і таке, що не має граничних значень. При розгляді поверхні відгуку можна відмітити, що з підвищенням частоти обертання продуктивність конвеєра збільшується, як і при підвищенні тиску розрідження. Подальше збільшення частоти обертання не призводить до збільшення продуктивності спірального конвеєра, оскільки матеріал, що переміщається за рахунок осьової рушійної сили спірального шнека, починає інтенсивно переміщуватися. Такий характер зміни найнаочніше проявляється при $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ і подальшому зростанні частоти обертання. У пневмоспиральному конвеєрі при збільшенні частоти обертання і тиску потоку повітря продуктивність продовжує рости, стаціонарна область відзначається при більш високих значеннях частоти обертання спіралі.

Таким чином, для отримання максимальної продуктивності необхідно збільшувати не лише частоту обертання спіралі, але і тиск повітряного потоку.

Аналіз отриманих даних при транспортуванні насіння проса дозволяє знайти оптимальні режимні параметри роботи пропонованого пневмоспирального конвеєра.

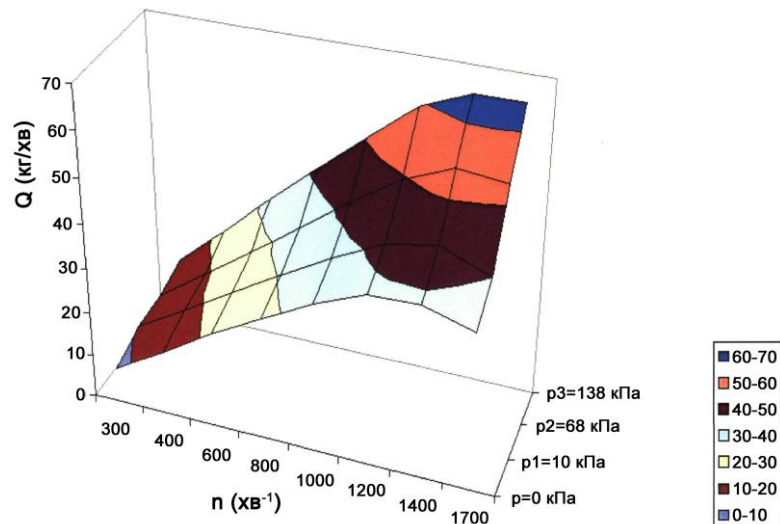


Рисунок 3.6 - Залежність продуктивності пневмоспіральної установки від частоти обертання спіралі і тиску повітряного потоку при транспортуванні зерна проса

У заданих параметрах максимальна продуктивність конвеєра досягається при наступних значеннях: при $p = 10 \text{ кПа}$ и $n = 1410 \text{ хв}^{-1}$ – $44,3 \text{ кг/хв}$, при $p = 68 \text{ кПа}$ и $n = 1460 \text{ хв}^{-1}$ – $54,8 \text{ кг/хв}$, а при $p = 138 \text{ кПа}$ и $n = 1590 \text{ хв}^{-1}$ – $65,4 \text{ кг/хв}$. Проаналізувавши дані, отримуємо для максимальної продуктивності оптимальні показники конвеєра при переміщенні зерна проса (див. рис. 4.9) $p = 138 \text{ кПа}$; $n = 1590 \text{ хв}^{-1}$; $Q = 65,4 \text{ кг/хв}$.

Травмованість матеріалу не перевищує 3 %, що є допустимим для роботи з посівним матеріалом (ГОСТ 22983 - 88).

3.6 Вплив режимних параметрів на продуктивність і показники роботи пневмоспіральної установки при транспортуванні зерна гороху

Проведені дослідження при роботі із зерном гороху, що має найбільшу швидкість витання.

Отримані залежності продуктивності установки від частоти обертання спірального шнека представлені на рис. 3.7 і 3.8.

Рівняння регресії, що описують ці залежності мають вигляд:

$$Q = 0,092n - 2,91 \cdot 10^{-5} n^2 - 11,356 \text{ при } p = 138 \text{ кПа} \quad (3.27)$$

$$Q = 0,079n - 2,695 \cdot 10^{-5} n^2 - 8,153 \text{ при } p = 68 \text{ кПа} \quad (3.28)$$

$$Q = 0,075n - 2,814 \cdot 10^{-5} n^2 - 6,647 \text{ при } p = 10 \text{ кПа} \quad (3.29)$$

$$Q = 0,074n - 2,891 \cdot 10^{-5} n^2 - 6,112 \text{ при } p = 0 \text{ кПа} \quad (3.30)$$

З графіків залежності продуктивності від частоти обертання спіралі при транспортуванні гороху видно, що вона росте упродовж усієї даної ділянки, як при усіх значень тиску, що набувають, так і без нього. Основні рушійні сили - з боку спірального робітника органу, а сили потоку повітря є допоміжними.

Рівняння залежності продуктивності від тиску повітряного потоку:

$$Q = 0,168p - 5,13 \cdot 10^{-6} p^2 + 36,86 \text{ при } n = 1700 \text{ хв}^{-1} \quad (3.31)$$

$$Q = 0,201p - 3,484 \cdot 10^{-4} p^2 + 39,864 \text{ при } n = 1400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.32)$$

$$Q = 0,092p + 2,573 \cdot 10^{-4} p^2 + 41,323 \text{ при } n = 1200 \text{ хв}^{-1} \quad (3.33)$$

$$Q = 0,041p + 2,802 \cdot 10^{-4} p^2 + 38,715 \text{ при } n = 1000 \text{ хв}^{-1} \quad (3.34)$$

$$Q = 0,018p + 2,547 \cdot 10^{-4} p^2 + 35,129 \text{ при } n = 800 \text{ хв}^{-1} \quad (3.35)$$

$$Q = 0,026p + 1,367 \cdot 10^{-4} p^2 + 28,766 \text{ при } n = 600 \text{ хв}^{-1} \quad (3.36)$$

$$Q = 6,879 \cdot 10^{-3} p + 7,032 \cdot 10^{-5} p^2 + 17,111 \text{ при } n = 400 \text{ хв}^{-1} \quad (3.37)$$

$$Q = -1,472 \cdot 10^{-3} p + 2,086 \cdot 10^{-5} p^2 + 14,006 \text{ при } n = 300 \text{ хв}^{-1} \quad (3.38)$$

При $n = 300 \text{ хв}^{-1}$ і тиску повітряного потоку в 10 кПа в порівнянні із спіральним конвеєром зростання продуктивності у пневмоспірального конвеєра не спостерігається. Також і при $p = 68 \text{ кПа}$, а при $p = 138 \text{ кПа}$ і тій же частоті обертання відзначається підвищення продуктивності на 1,5 %. Збільшуючи частоту обертання до 400 хв^{-1} і $p = 10 \text{ кПа}$ продуктивність по відношенню до спірального конвеєра майже не змінюється, підвищення відбувається лише на 0,6 %, при на 5 %, при досягає збільшення до 14 %. Результатів по зміні продуктивності при $n = 600 \text{ хв}^{-1}$ виглядають таким чином: при $p = 10 \text{ кПа}$ Q збільшується на 1 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 9 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 22 %. При

$n = 800 \text{ хв}^{-1}$ збільшення Q буде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 1,5 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 6 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 21 %. При $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ зростання Q йде при $p = 10 \text{ кПа}$ на 1,5 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 9 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 25 %. після досягнення $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$: при $p = 10 \text{ кПа}$ Q збільшується на 5 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 19%, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 43 %. При $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ Q є ростить значніше, так при $p = 10 \text{ кПа}$ на 7 %, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 31 %, при $p = 138 \text{ кПа}$ на 61 %. Когда $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ є наступний зміна при $p = 10 \text{ кПа}$ Q підвищився на 10 %, в порівнянні із спіральний конвеєр, при $p = 68 \text{ кПа}$ на 33 %, при $p = p = 138 \text{ кПа}$ на 69 %.

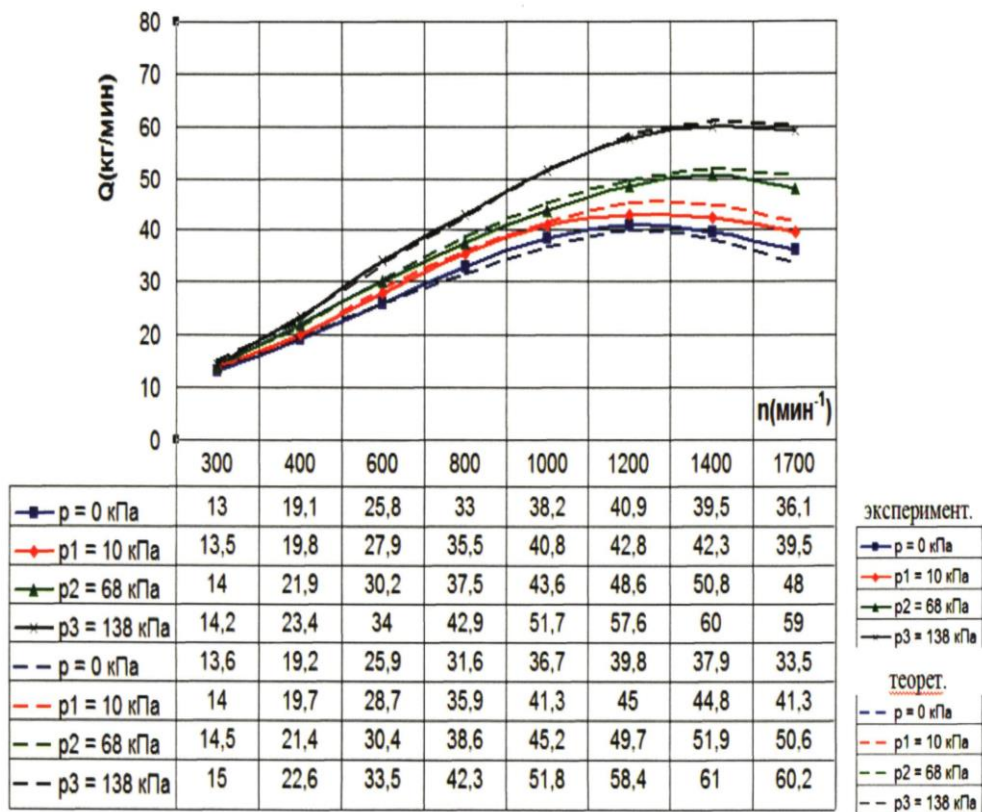


Рисунок 3.7 - Залежність продуктивності пневмоспіральній установці під час роботи із горохом від частоти обертання спіралі при різному тиску повітряного потоку

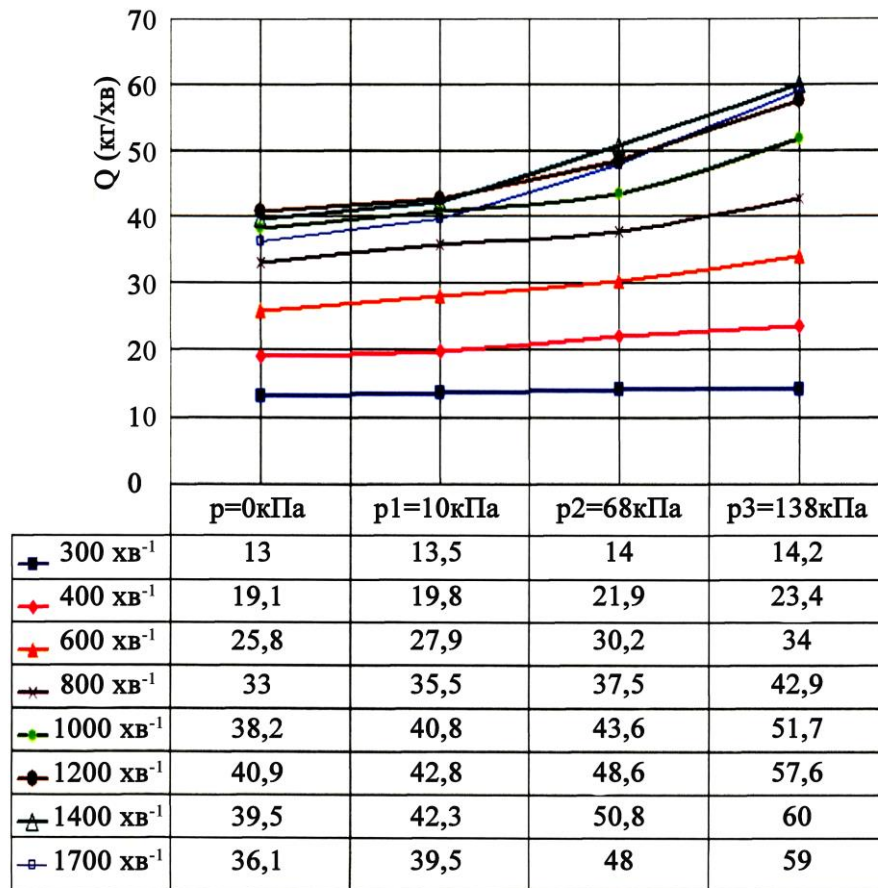


Рисунок 3.8 - Залежність продуктивності пневмоспіральній установці під час роботи із горохом від тиску повітряного потоку при різній частоті обертання спіралі

Узагальнені дані зведені в таблиці. 3.4.

Таблиця 3.4 - Підвищення продуктивності пневмоспірального конвеєра зі збільшенням тиску повітряного потоку при роботі з горохом, %

p, кПа	n, xv ⁻¹							
	300	400	600	800	1000	1200	1400	1700
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0,6	1	1,5	1,5	5	7	10
68	0	5	9	6	9	19	31	33
138	1,5	14	22	21	25	43	61	69

Зі збільшенням частоти обертання спірального шнека продуктивність

росте в усьому діапазоні, до певного моменту потім, досягнувши граничних значень, вона починає поступово знижуватися. Ця залежність спостерігається при усіх параметрах тиску повітряного потоку. Проте у спірального конвеєра максимальна продуктивність досягається при $n = 1210 \text{ хв}^{-1}$ і складає 41,1 кг/хв. Тоді як при $p = 10 \text{ кПа}$ Q буде 43 кг/хв при частоті обертання 1290 хв^{-1} . А коли тиск повітряного потоку збільшиться до 68 кПа підвищення продуктивності буде значнішим - 51,9 кг/мін і $n = 1380 \text{ хв}^{-1}$, а при $p = 138 \text{ кПа}$ - 61,2 кг/хв і $n = 1405 \text{ хв}^{-1}$. З графіків видно, що у пневмоспірального конвеєра при усіх досліджуваних потоках повітря відбувається зміщення максимальних значень продуктивності у бік збільшення оборотів.

Таке зростання пояснюється поєднанням сил, що діють на частку спіральним шнеком і тиском потоку повітря. Горох має високу швидкість витання і тому в основній своїй масі переміщається за рахунок рушійних сил спіралі. Раніше проведеними експериментами була виявлена недоцільність застосування спіральних конвеєрів (гнучких шнеків) для переміщення гороху: із-за малого внутрішнього тертя матеріал, що транспортувався, надмірно переміщується, що негативно позначається на продуктивності, і дробиться. Сила потоку повітря має допоміжне призначення, створюючи стан потоку переміщуваного матеріалу, близький псевдозрідженому. Завдяки цьому можна транспортувати цей вантаж при великій частоті обертання з хорошою продуктивністю.

При збільшенні n с 300 до 400 хв^{-1} Q змінюється при $p = 0 \text{ кПа}$ с 14 до 17,1 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 14 до 17,2 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 14 до 17,9 кг/хв, при $p = 138 \text{ кПа}$ с 14,2 до 19,4 кг/хв. Від 400 до 600 хв^{-1} відзначається зміна Q при $p = 0 \text{ кПа}$ с 17,1 до 28,8 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ с 17,2 до 29 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 17,9 до 31,2 кг/хв, при $p = 138 \text{ кПа}$ с 19,4 до 35 кг/хв. Коли частота обертання підвищується до 800 хв^{-1} продуктивність при $p = 0 \text{ кПа}$ змінюється с 28,8 до 35 кг/хв, при $p = 10 \text{ кПа}$ а с 29 до 35,5 кг/хв, при $p = 68 \text{ кПа}$ с 31,2 до 37 кг/хв, при

$p = 138$ кПа с 35 до 42,2 кг/хв. А при частоті обертання 1000 хв⁻¹ при $p = 0$ кПа відбувається збільшення продуктивності з 35 до 38,2 кг/хв, при $p = 10$ кПа с 35,5 до 39,8 кг/хв, при $p = 68$ кПа с 37,5 до 42,6 кг/хв, и при $p = 138$ кПа с 42,2 до 49,7 кг/хв. При підвищенні оборотів до 1200 хв⁻¹ і 1400 хв⁻¹ різниця стає значнішою і збільшення досягає при $p = 0$ кПа с 38,2 до 40,9 кг/хв и починає знижуватися до 39,5 кг/хв, при $p = 10$ кПа с 39,8 до 42,8 кг/хв и знижується до 42,3 кг/хв, при $p = 68$ кПа растет с 42,6 до 48,6 и 51,8 кг/хв відповідно, і при $p = 138$ кПа а с 49,7 до 58,6 и 61 кг/хв. При частоті обертання 1700 хв⁻¹ зменшується при усіх досліджуваних p : так при $p = 0$ кПа с 39,5 до 36,1 кг/хв, при $p = 10$ кПа с 42,3 до 39,5 кг/хв, при $p = 68$ кПа с 51,8 до 48 кг/хв, при $p = 138$ кПа с 61 до 60 кг/хв.

Аналіз отриманих даних дозволяє знайти оптимальні режимні параметри роботи пневмоспірального конвеєра при транспортуванні гороху. З графіків (див. рис. 3.7 і 3.8) видно, що в заданих параметрах максимальну продуктивність, рівну 61,2 кг/хв Пневмоспіральний конвеєр забезпечує при $n = 1405$ хв⁻¹ і $p = 138$ кПа.

За експериментальними даними було побудовано рівняння регресії, що описує характер зміни продуктивності:

$$Q = 0,073n - 2,836 \cdot 10^{-5} n^2 - 0,046p + 7,94 \cdot 10^{-5} p^2 + 1,25 \cdot 10^{-4} pn - 6,098 \quad (3.39)$$

У заданому діапазоні значень максимальна продуктивність досягається при максимальному значенні тиску повітряного потоку і частоті обертання спіралі, рівної 1405 хв⁻¹.

При частотах обертання вище 600 хв⁻¹ зерно гороху починає сильно дробитися, і травмируемість перевищує 15%, тому застосування пневмоспірального конвеєра раціональне лише при транспортуванні цього зернового матеріалу для кормових потреб в тваринництві для приготування комбікормів (ГОСТ 28674 - 90).

3.7 Вплив зміни довжини гнучкого спірального шнека на продуктивність

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити вплив зміни довжини гнучкого спірального шнека на продуктивність спіральної і пневмоспіральної установок для зерна пшениці, проса і гороху. В результаті обробки даних отримані залежності, які представлені на рис. 3.10 (а, б, в).

Аналіз результатів експерименту підтверджує ефективність пневмоспірального конвеєра в порівнянні із спіральним. Встановлено, що при збільшенні довжини спірального шнека величина продуктивності спірального конвеєра зменшується по залежності близькій до прямолінійної. У пневмоспірального конвеєра зменшення продуктивності має параболічну залежність. Це дозволяє зробити наступні висновки:

- графічні залежності підтверджують, що основними рушійними силами є сили, що діють на зернову масу з боку гнучкого спірального шнека, і продуктивність зменшується як без подання повітря, так і за наявності тиску повітряного потоку;
- завдяки повітряному потоку сили, що впливають на зерно вирівнюються і зменшення продуктивності відбувається менш інтенсивно.

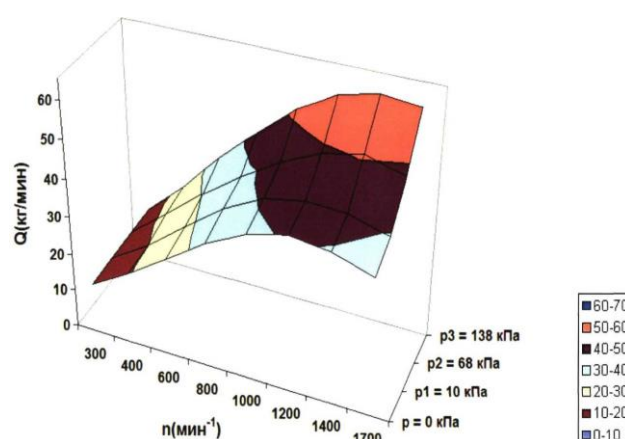


Рисунок 3.9 - Залежність продуктивності пневмоспіральної установки від частоти обертання спіралі і тиску потоку повітря при транспортуванні гороху

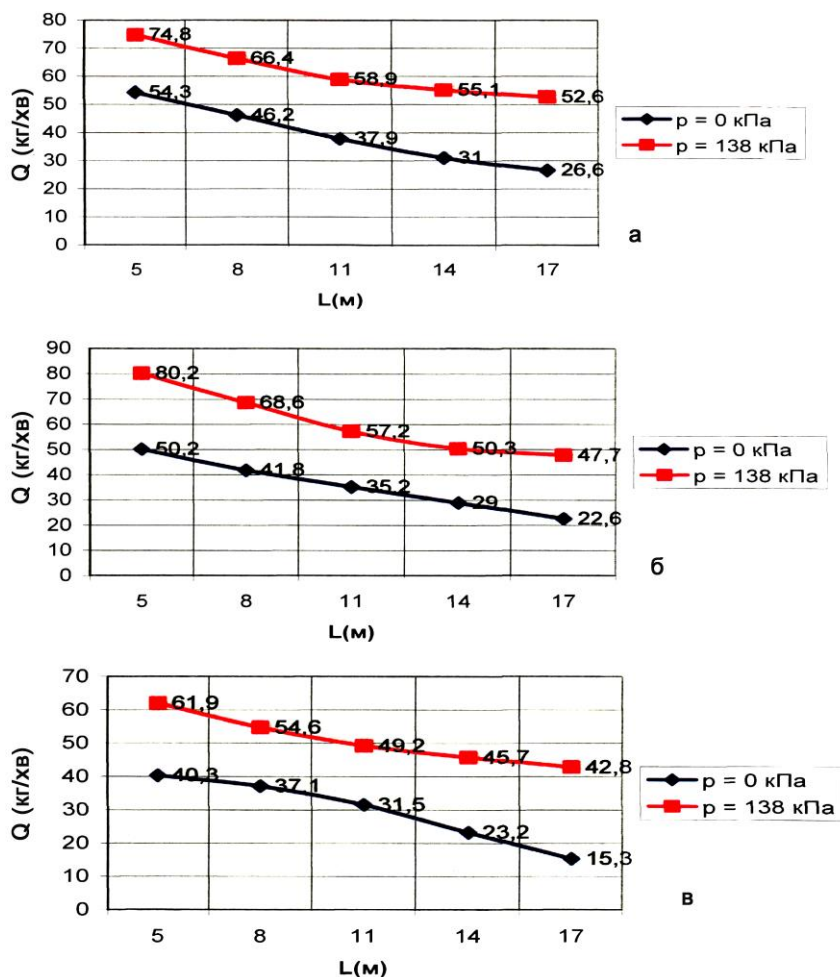


Рисунок 3.10 - Залежність продуктивності спіральної і пневмоспіральної установок від довжини гнучкого спірального шнека при частоті обертання спіралі під час роботи із зерном: а - пшениці; б - просо; в - гороху

Проведений аналіз впливу змін параметрів на продуктивність і показники роботи спіральної і пневмоспіральної установок при роботі із зерном дозволив встановити наступне.

Із зростанням частоти обертання спіралі продуктивність як спірального, так і пневмоспірального конвеєрів зростає до певного значення, а далі починає знижуватися. Зі збільшенням тиску повітряного потоку спостерігається також наростаюче збільшення продуктивності, але менш інтенсивне і таке, що не має граничних значень. Таким чином, для отримання максимальної продуктивності необхідно збільшувати не лише частоту обертання n , але і тиск повітряного потоку p .

Проте з графіків (див. рис. 3.3, 3.6, 3.9) видно, що при роботі пневмоспірального конвеєра при усіх досліджуваних потоках повітря

відбувається зміщення максимальних значень продуктивності у бік збільшення частоти обертання. Таке зростання пояснюється поєднанням сил від дії на частку спіралі і тиску потоку повітря.

Аналіз отриманих даних про продуктивність установок при транспортуванні зерна пшениці, проса і гороху дозволяє встановити велику ефективність пропонованого пневмоспірального конвеєра в порівнянні із спіральним.

Максимальна продуктивність без урахування травмируемости зерна досягається при частоті обертання спіралі $n = 1400 \dots 1650 \text{ хв}^{-1}$ і тиску повітряного потоку $p = 138 \text{ кПа}$: $n = 1480 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна пшениці), $n = 1590 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна проса), $n = 1405 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна гороху).

Висновки

Проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Експериментально підтверджені теоретичні положення про ефективність пневмоспірального конвеєра. При завантаженні з бурту пропонований Пневмоспіральний конвеєр (в порівнянні із спіральним) має велику продуктивність на 40-60 % при довжині гнучкого спірального шнека і транспортуванні за схемою «до приводу» 10 м.

2. Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні висновки про те, що на продуктивність пневмоспірального конвеєра найбільший вплив роблять його режимні параметри. Таким чином, для забезпечення необхідної продуктивності необхідно збільшувати не лише частоту обертання n , але і тиск повітряного потоку p

3. Найбільша продуктивність, без урахування травмируемости зерна, досягається при частоті обертання $n = 1400 \dots 1650 \text{ хв}^{-1}$ спіралі і тиску повітряного потоку $p = 138 \text{ кПа}$: $n = 1480 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна пшениці),

$n = 1590 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна проса), $n = 1405 \text{ хв}^{-1}$ (для зерна гороха).

4. результатами випробувань встановлено підвищення потужності у пневмоспірального конвеєра приблизно в два рази в порівнянні із спіральним.

5. В ході виробничих випробувань пропонованого пневмоспірального конвеєра (внутрішній діаметр рукава 54 мм, довжина гнучкого спірального шнека 10 м), була отримана продуктивність:

- при транспортуванні зерна пшениці - 4,1 т/год
- при транспортуванні зерна проса - 4,9 т/год
- при транспортуванні зерна гороху - 3,5 т/год.

6. Отримані експериментальні дані зіставлені з теоретичними, відхилення склали не більше 5 %.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Післязбиральний обробіток зернових культур включає операції з очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовки зерна до зберігання або реалізації. Цей технологічний процес передбачає використання спеціалізованої техніки: зерноочисних машин, транспортерів, сушарок, вагових систем, а також ручного інструменту.

Процес післязбирального обробітку є потенційно небезпечним для працівників, оскільки включає контакт з рухомими робочими органами, пилом, шумом, вібраціями, високими температурами при сушінні зерна та підйом важких вантажів. Дотримання правил охорони праці та техніки безпеки дозволяє запобігти травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям.

Загальні вимоги до працівників

До виконання робіт з післязбирального обробітку зернових допускаються особи, які: досягли 18 років; пройшли медичний огляд та навчання з охорони праці; ознайомлені з інструкціями з експлуатації техніки та ручного інструменту; мають посвідчення тракториста, машиніста зерноочисної або сушильної техніки.

Перед початком робіт проводиться інструктаж на робочому місці, де уточнюються: порядок організації робочого процесу; межі робочих зон та небезпечні ділянки; правила поведінки під час роботи з машинами та ручним інструментом; порядок дій у випадку аварійних ситуацій.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, респіратором або маскою при пилових умовах, захисними окулярами та головними уборами.

Підготовка техніки та обладнання

Перед початком робіт обов'язково перевіряється техніка: зерноочисні машини, транспортери, сушарки; підйомно-транспортні механізми; вагові системи, шнеки, шнекові транспортери; наявність сигналізації, освітлення, запобіжних кожухів; справність гальмівних і рульових систем у транспортних засобах; наявність аптечки та вогнегасника.

Регулювання, ремонт або чистка робочих органів проводиться тільки після відключення живлення і зупинки агрегату, із дотриманням усіх вимог безпеки.

Ручний інструмент повинен бути справним, із надійно закріпленими ручками та без видимих дефектів.

Безпека при роботі з механізованим обладнанням

Основні вимоги: рух транспортерів, шнеків та іншого обладнання здійснюється за чітко визначеними маршрутами та швидкісними режимами; забороняється перебування людей у зоні дії обертових або рухомих частин; відстань між одночасно працюючими агрегатами повинна бути не менше 2–3 м; повороти, підйом і спуск зерна через шнеки здійснюються тільки після відключення живлення або переведення обладнання у транспортне положення; забороняється перевантаження машин або перевищення допустимих норм транспортування та обробки зерна.

Особлива увага приділяється сушаркам: високі температури створюють ризик опіків та пожеж. Використовуються термозахисні рукавички, екранування та контроль температури.

Безпека при ручних операціях

Ручні роботи включають: перенесення мішків із зерном; очищення решіт та агрегатів; сортування зерна; підготовку приміщень до зберігання.

Вимоги безпеки: дотримання правил підйому та перенесення вантажів; використання допоміжних пристроїв для перенесення (візки, лотки); обов'язкове використання спецвзуття та рукавичок; контроль за станом підлоги та проходів для уникнення падінь та травм.

Пожежна та екологічна безпека

Післязбиральна обробка зерна пов'язана з високим ризиком загоряння через пил, високу температуру, мастильні матеріали та електроприлади. Для запобігання пожежам: забороняється палити та використовувати відкритий вогонь у приміщеннях; обладнання та приміщення повинні бути очищені від пилу та залишків зерна; на кожному агрегаті обов'язково наявність вогнегасника; дотримання правил експлуатації електроприладів.

Екологічна безпека передбачає: недопущення витоку паливно-мастильних матеріалів; правильне утилізування відходів зерна; контроль пилу та шуму для мінімізації негативного впливу на довкілля.

Організація робочого місця: чітке зонування робочих ділянок; наявність аптечок, засобів сигналізації та інструкцій з охорони праці; контроль стану підлоги, проходів та сходів; забезпечення питною водою та умов для перерви і відпочинку.

Режим праці і відпочинку обов'язковий: після 2–3 годин роботи передбачаються короткі перерви, особливо при високій температурі або пилових умовах.

Вимоги після завершення робіт

Після завершення зміни: очистити техніку і обладнання від залишків зерна та пилу; перевірити стан агрегатів, зафіксувати несправності; прибрати робочу ділянку; скласти звіт про виконану роботу та подати інформацію керівництву; забезпечити правильне складування зерна та упаковок.

Висновки

Післязбиральний обробіток зернових культур є комплексним технологічним процесом, що включає очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовку зерна до зберігання або реалізації. Цей процес характеризується підвищеною небезпекою через використання механізованої техніки, ручного інструменту, підйому та перенесення важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій і високих температур.

Комплексне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дозволяє не лише запобігти травматизму та професійним захворюванням, а й забезпечити ефективність виробничого процесу та високу якість обробки зерна. Серед основних напрямів безпеки слід виділити:

1. Підготовку персоналу. Регулярні інструктажі, навчання з охорони праці, медичний контроль та забезпечення засобами індивідуального захисту

формують культуру безпечної праці та підвищують відповідальність працівників.

2. Технічну підготовку обладнання та машин. Технічний огляд, регулювання робочих органів, наявність захисних кожухів та сигналізації, а також суворе дотримання правил експлуатації зменшують ризик аварій і поломок техніки.

3. Організацію робочого місця. Чітке зонування, наявність аптечок, сигнальних засобів, контроль стану підлоги, проходів і сходів, а також створення умов для перерв і відпочинку підвищують безпеку та продуктивність праці.

4. Пожежну та екологічну безпеку. Дотримання правил поводження з паливно-мастильними матеріалами, очищення приміщень від пилу та залишків зерна, контроль температурного режиму сушарок і правильне поводження з відходами запобігають пожежам і забрудненню довкілля.

5. Контроль за режимом праці та відпочинку. Раціональне чергування роботи та відпочинку запобігає перевтомі, яка часто є причиною помилок та травматизму, особливо під час виконання ручних операцій та роботи на шумних, вібруючих агрегатах.

6. Координацію роботи персоналу та взаємодію з технікою. Сигнальники, машиністи та робітники повинні чітко координувати свої дії, дотримуватися встановлених дистанцій та режимів роботи, що зменшує ризик нещасних випадків.

7. Системність підходу. Поєднання навчання персоналу, підготовки техніки, організації робочих місць, дотримання правил пожежної та екологічної безпеки створює комплексну систему захисту, яка забезпечує стабільність і ефективність виробництва.

Отже, системне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки є ключовим чинником забезпечення якості, ефективності та безпеки післязбирального обробітку зернових культур, що створює умови для розвитку стабільного, продуктивного та екологічно відповідального сільськогосподарського виробництва.

5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

Ефективність функціонування сучасних технологічних ліній значною мірою визначається раціональністю застосованих транспортуючих систем, оскільки саме вони забезпечують безперервність виробничого процесу, інтегрованість окремих операцій та стабільність потоків матеріалів. Традиційні механічні конвеєри, зокрема гвинтові, стрічкові та скребкові, хоча й широко застосовуються у промисловості, характеризуються низкою експлуатаційних недоліків: підвищеним енергоспоживанням, значною інтенсивністю зношування робочих органів, підвищеним рівнем шуму та обмеженими можливостями транспортування продуктів, чутливих до механічних пошкоджень. У цьому контексті актуальним є впровадження інноваційних конструктивно-технологічних рішень, що здатні забезпечити підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат при одночасному поліпшенні якісних показників транспортування.

Пневмоспіральні конвеєри належать до перспективних транспортних систем, які поєднують принципи пневмотранспорту та спірального переміщення матеріалу. Така конструктивно-технологічна схема забезпечує плавне транспортування вантажу за рахунок формування контрольованого повітряного потоку вздовж спірального каналу, що мінімізує механічний вплив на продукт і знижує ризики його пошкодження. Крім того, відсутність традиційних рухомих механічних елементів зменшує потребу в технічному обслуговуванні та підвищує надійність обладнання в умовах інтенсивної експлуатації.

Оцінювання економічної ефективності впровадження пневмоспірального конвеєра є важливим етапом прийняття інженерно-технологічних рішень, оскільки дозволяє визначити раціональність інвестицій, термін окупності та потенційні конкурентні переваги обладнання в порівнянні з традиційними транспортними системами. До ключових показників економічної ефективності відносять: зниження річних експлуатаційних витрат, економію енергії, мінімізацію втрат продукції та підвищення її якості, скорочення простоїв і

ремонтних робіт, а також покращення умов експлуатації з позицій енергетичної та технологічної стабільності.

Таким чином, дослідження економічної ефективності пневмоспіральних конвеєрів є необхідною складовою інженерного обґрунтування їх застосування у виробничих системах різного призначення. Проведення комплексного аналізу із використанням економічних, енергетичних та технічних критеріїв дає можливість визначити оптимальні параметри впровадження, сформулювати прогноз економічних результатів та забезпечити підвищення загальної ефективності виробничих процесів. У подальших підрозділах наведено методику оцінювання економічної ефективності, основні вихідні дані та розрахунки, що дозволяють всебічно оцінити переваги застосування даної конструктивно-технологічної схеми.

Метою розділу є оцінити економічну доцільність впровадження конструктивно-технологічної схеми пневмоспірального конвеєра порівняно з традиційною схемою (наприклад, гвинтовим/транспортним рішенням) за показниками: річні експлуатаційні витрати, приведена вартість економічного ефекту, термін окупності та питомі витрати на тону продукції.

$$\text{Річний обсяг: } Qa = Q \cdot H$$

$$\text{Річна економія по витратах: } \Delta O = O_{alt} - O_{new}$$

$$\text{Додатковий дохід від зниження витрат: } \Delta R = e \cdot Qa \cdot p$$

$$\text{Загальний річний ефект: } E = \Delta O + \Delta R$$

$$\text{Простий термін окупності: } PB = \Delta C / E$$

$$\text{Чиста приведена вартість: } NPV = -\Delta C + \sum_{t=1}^n E(1+i)^{-t} + S(1+i)^{-n},$$

Розрахунок

$$Q = 20 \text{ т/год,}$$

$$H = 2000 \text{ год/рік} \rightarrow Qa = 40000 \text{ т/рік.}$$

$$C_{O_{new}} = 400000 \text{ грн,}$$

$$C_{O_{alt}} = 300000 \text{ грн} \rightarrow \Delta C = 100000 \text{ грн.}$$

$$O_{new} = 120000 \text{ грн/рік,}$$

$$O_{alt} = 170000 \text{ грн/рік} \rightarrow \Delta O = 50000 \text{ грн/рік.}$$

Зниження втрат

$$e=0,002$$

Середня вартість продукції

$$p=1000 \text{ грн/т}$$

Термін служби

$$n=10$$

$$Qa=20 \cdot 2000=40000 \text{ т/рік.}$$

$$\Delta O=170000-120000=50000 \text{ грн/рік.}$$

$$\Delta R=0,002 \cdot 40000 \cdot 1000=80000 \text{ грн/рік.}$$

$$E=50000+80000=130000 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності:

$$PB=100000/130000 \approx 0,77 \approx 9,2 \text{ місяця.}$$

Питомі експлуатаційні витрати:

$$O_{new}=120000/40000=3,00 \text{ грн/т.}$$

$$O_{alt}=170000/40000=4,25 \text{ грн/т.}$$

– економія = 1,25 грн/т від експлуатації.

Тоді приведена вартість річних ефектів:

$$E \cdot A=130,000 \cdot 5,6494 \approx 734,422 \text{ грн.}$$

$$NPV=-100,000+734,422 \approx 634,422 \text{ грн}$$

За наведених припущень впровадження пневмоспирального конвеєра окупається швидко (<1 року) та має значну додану приведену вартість, що робить інвестицію економічно привабливою.

Питома економія на тонну – сумарно (економія по експлуатації + прибуток від зниження втрат) = $E/Qa=130,000/40,000=3,25$ грн/т.

Додаткові фактори, що впливають на економічну ефективність: капітальна надійність і термін служби; коефіцієнт використання (реальні робочі години на рік); вплив на якість продукції (менше пошкоджень = вищі ціни/менше відбракування); енергоефективність (особливо при високих тарифах на електроенергію); витрати на навчання персоналу та адаптацію технології; ризики – технічні (відмови, складність ремонту) та ринкові (зміна цін на продукцію).

Висновки

Теоретично конструктивно-технологічна схема пневмоспірального конвєсера може забезпечити як скорочення експлуатаційних витрат, так і зниження втрат продукції – це дає комбінований економічний ефект, який часто робить інвестицію вигідною (за наведеними прикладами – окупність < 1 рік).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу літературних джерел, патентного пошуку та виробничого опитування виявлено недоліки спіральних конвеєрів (гнучких шнеків) та намічені шляхи їх усунення. Розроблено класифікацію конвеєрів даного типу та нову конструктивно-технологічну схему пневмоспірального конвеєра, що дозволяє зависити продуктивність та збільшити довжину переміщення за схемою «до приводу» за рахунок суміщення процесів транспортування спіраллю та повітряним потоком.

2. Теоретичні дослідження технологічного процесу дозволили:

- застосувати системи рівнянь, що описують перебіг в'язкого газу в криволінійному каналі та дозволяють розрахувати траєкторію руху потоку методом сіток для пневмоспірального конвеєра;

- отримати результати у вигляді схеми розподілу швидкостей повітряного потоку і потоку зерна в робочому органі пневмоспірального конвеєра, які показали, що під час руху зерна в спіральному конвеєрі утворюються вторинні вихори, кількість яких при суміщенні процесів транспортування в пневмоспіральному конвеєрі;

- встановити вплив на продуктивність запропонованого конвеєра режимних параметрів: частоти обертання спіралі, щодо якої продуктивність зростає за параболічною залежністю, та тиск повітряного потоку, щодо якого залежність близька до прямолінійної;

- отримати аналітичні вирази для визначення швидкості повітряного потоку в завантажувальному пристрої та осьової швидкості матеріалу всередині кожуха; частоти обертання шнека з урахуванням тиску повітряного потоку; потужності пневмоспірального конвеєра, що складається із суми потужностей для приводів спірального шнека та пневмосистеми.

3. Експериментально підтверджені теоретичні передпосилки та встановлені:

- режимні параметри пневмоспірального конвеєра для отримання

максимальної продуктивності без урахування травмування зерна:

для пшениці $n = 1370 \dots 1590 \text{ хв}^{-1}$; для проса $n = 1490 \dots 1620 \text{ хв}^{-1}$; для гороху $n = 1350 \dots 1450 \text{ хв}^{-1}$. Тиск повітряного потоку $p = 138 \text{ кПа}$. В результаті досліджень було встановлено, що продуктивність при транспортуванні зерна в даному випадку збільшується на 40 - 60%. Вплив зміни довжини гнучкого спірального шнека на продуктивність спіральної та пневмоспіральної установок та підтверджено, що завдяки повітряному потоку сили, що впливають на зерно, вирівнюються, та продуктивність із збільшенням довжини зменшується з меншою інтенсивністю. 4. Виробничі випробування, проведені на 3 видах зерна, дозволили визначити продуктивність пневмоспірального конвеєра з внутрішнім діаметром рукава 54 мм та довжиною спірального шнека 10 м: при транспортуванні зерна пшениці – 4,1 т/год; проса – 4,9 т/год; гороху – 3,5 т/рік.

4. Післязбиральний обробіток зернових культур є комплексним технологічним процесом, що включає очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовку зерна до зберігання або реалізації. Цей процес характеризується підвищеною небезпекою через використання механізованої техніки, ручного інструменту, підйому та перенесення важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій і високих температур. Комплексне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дозволяє не лише запобігти травматизму та професійним захворюванням, а й забезпечити ефективність виробничого процесу та високу якість обробки зерна.

5. Теоретично конструктивно-технологічна схема пневмоспірального конвеєра може забезпечити як скорочення експлуатаційних витрат, так і зниження втрат продукції – це дає комбінований економічний ефект, який часто робить інвестицію вигідною (за наведеними прикладами – окупність < 1 рік).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семак С.Р. Обґрунтування параметрів гвинтового конвеєра навантажувача зерна НЗ-60. - Тернопіль: ТНТУ, 2019. 147 с.
2. ГОСТ 23728-88. Методи економічної оцінки. Техніка сільськогосподарська.
3. Гевко Б. М., Данильченко М. Г., Рогатинський Р. М., Пилипець М. І., Матвійчук А.В. Механізми з гвинтовими пристроями. - Львів: Світ, 1993, 208 с.
4. Навантажувач зерна НЗ-60. Настанова щодо експлуатування.
5. Писаренко Г. С. Опір матеріалів. - К.: Вища школа, 1974. 304 с.
6. Гапоненко В. С., Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини. 6-е вид., перероб. і допов. - К.: Урожай, 1992. 448 с.
7. Марченко В. І. Сільськогосподарські машини. Підручник. - К.: Вища шк., 1999. 344 с.
8. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Лісостеп. – К.:, 2004 р. 2 томи.
9. Володін М. Г. Касторних, А. І. Кривошеїн. К. Н. Довідник по аспираційним і пневмотранспортним установкам. Урожай, 2004. 248 с.
10. Ізмайлов А. Ю. Моделювання вантажно-транспортних процесів при збиранні зернових культур. Техн. в с. х. 2007. № 3. С. 33-38.
11. Яковлєв А. В., Тарасов В. П., Мухопад К. А. Математична модель розгалуженої пневмотранспортної системи. Вид. вузів. Хім.технол. 2007. № 4. С. 103-105.
12. Ratgeber für die Projektpraxis. Scheid Wolf-Michael. F + H: Fordern und Heben: Zeitschrift für Materialfluss und Automation in Produktion, Lager, Transport und Umschlag. 2005. 55, № 12. p. 695-697.
13. Лашеніх О. А., Кузькін О. Ф., Грицай С. В. Імовірнісні і статистико експериментальні методи аналізу транспортних систем: навч. посібник. - Запоріжжя, ЗНТУ, 2011. 419 с

14. URL : <http://elevatormash.net/>
15. URL : <http://hapman.com/>
16. URL : <http://books.nauu.kiev.ua/>
17. Василенко М. В., Алексейчук О. М. Теорія коливань і стійкості руху : Підручник. - К.: Вища шк., 2004. 525 с.
18. М. В. Любін. Механізація транспортуючих робіт. Ч. I : Транспортуючі машини з тяговим органом. - Вінниця: ВДАУ, 2004. 217 с.
19. М. В. Любін. Механізація транспортуючих робіт. Ч. II : Транспортуючі машини без тягового органу. - Вінниця: ВНАУ, 2010. 230 с.
20. Любін М. В., Гунько І. В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом: навч. посіб; М-во освіти і науки, іолоді та спорту України, ВНА. – К.: Хай-Тек Прес, 2012. 269 с.
21. Паладійчук Ю. Б., Кашпрук Ю. М. Технологічність конструкції гвинтових конвеєрів завантажувачів. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК. №2 (90). 2015. С. 104–107.
22. Токарчук О. А. Результати експериментальних досліджень з визначення тягового зусилля робочих органів трубчатого конвеєра. Збірник наукових праць Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 1 (40). 2014. С. 52–59.
23. Любин М. В., Токарчук А. А. Закономерности истечения сыпучего материала через бункерные скребки трубчатых конвейеров на вертикальных участках трассы. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія Технічні науки. 2(85). 2014. С. 164–169.
24. Гевко Б. М., Третьяков О. Л., Дмитренко В. П., Котик Р. М. Конструктивно-технологічна характеристика гвинтових деталей у машинобудуванні. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. Вип. 2(94). С.46–51.
25. Ревенко І. І. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. - К.: Урожай, 1999, 192 с.

26. Ревенко І. І., Манько В. М. Посібник-практикум з механізації виробництва продукції тваринництва. - К.: Урожай, 1994. 288 с
27. Носов Ю. М. Проектування технологічних процесів у тваринництві і птахівництві. - Львів: «Новий Світ - 2000», 2014. 498с.
28. Кукта Р. М., Колесник А.Л., Кукта С.Г. Механізація і автоматизація тваринництва: Навчальний посібник. - К.: Віща школа, 1990. 335 с.
29. Thornley J.H.M., France J. Mathematical Models in Agriculture. CABI, 2007. 906р.
30. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Заболотько О. О. Машини та обладнання для тваринництва: посібник практикум. - К.: Кондор, 2012. 562 с.
31. Гунько І .В., Спирін А.В., Холоднюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. - Вінниця : ВДАУ, 2006. 76 с.
32. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.
33. Солоня О. В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. Вібрації в техніці та технологіях, 2018. 3. С. 105-116.
34. Turych V., Veselovska N., Rutkevych V., Shargorodsky S. Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2017. Vol. 6, 1. P. 60–68.

ДОДАТКИ