

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів трубчастого скребкового конвеєра для транспортування сільськогосподарської продукції”**

Виконав: студент VI курсу групи Аін-61
Спеціальності 208 „Агорінженерія”
(шифр і назва)

Луцько Богдан Васильович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Буртак В.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Гуменюк Р.В.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.т.н., доцент Шарйбура А.О.

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Луцьо Боддану Васильовичу

1. Тема роботи: **“Обґрунтування параметрів трубчастого скребкового конвеєра для транспортування сільськогосподарської продукції”**

Керівник роботи: Буртак Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 02.12.2024 року

3. Вихідні дані: методичні рекомендації до виконання дипломної роботи, довідкова література, каталоги, методика планування та проведення експериментальних досліджень, довідкова література, патентний пошук, інструкції з охорони праці.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз стану питання та завдання дослідження.

2. Теоретичні дослідження технологічних процесів та машин при транспортуванні сільськогосподарської продукції.

3. Програма і методика здійснення досліджень.

4. Результати досліджень та їх аналіз.

5. Охорона праці та захист населення.

6. Економічна ефективність.

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічна частина до дипломної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4,6	Буртак В.В. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича			
5	Кохана Т.М., к.е.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «<u>Аналіз стану питання та завдання дослідження</u>»</i>	<i>12.09.24-24.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «<u>Теоретичні дослідження технологічних процесів та машин при транспортуванні сільськогосподарської продукції</u>»</i>	<i>25.09.24-08.10.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу: «<u>Програма і методика здійснення досліджень</u>»</i>	<i>09.10.24-22.10.24</i>	
4.	<i>Виконання четвертого розділу: «<u>Результати досліджень та їх аналіз</u>»</i>	<i>23.10.24-06.11.24</i>	
5.	<i>Написання розділу «<u>Охорона праці та захист населення</u>»</i>	<i>07.11.24-18.11.24</i>	
6.	<i>Виконання розділу: «<u>Економічна ефективність</u>»</i>	<i>19.11.24-25.11.24</i>	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>26.11.24-02.12.24</i>	

Студент _____ Богдан Луцьо
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир Буртак
(підпис)

Обґрунтування параметрів трубчастого скребкового конвеєра для транспортування сільськогосподарської продукції.

Луньо Богдан Васильович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені професора О. Семковича. –Дубляни, Львівський НУП, 2024.

82 с. текст. част., 41 рис., 9 табл., 30 джерел.

Розглянуто технологічні особливості, класифікацію та конструктивні елементи існуючих засобів для транспортування сільськогосподарської продукції.

На основі аналізу визначені мета та задачі дослідження.

Розглянуто основи технологічного і конструктивного розрахунку.

На основі комплексу експериментальних досліджень отримано регресійні залежності для визначення ефективного просівання, продуктивності та крутного моменту при транспортуванні трубчастим скребковим конвеєром по криволінійних трасах для матеріалів горох та пшениця. Встановлено, що:

- для ефективного транспортування раціональні значення параметрів лежать в межах: швидкість подачі матеріалу – 0,34...0,86 м/с; кут нахилу – 10...20°;

- енергоємність в процесі сепарації зернової маси залежить від вказаних вище параметрів та питомого навантаження $q_{пит}$ і за раціональних їх значень $V=0,6$ м/с; $\alpha=10-20^\circ$, $q_{пит}=0,9-4,7$ кг/год \times см² становить 0,42–1,7 кВт.

Проведено аналіз стану охорони праці та захисту населення, а також обґрунтовано техніко-економічні показники конструкцій скребкового конвеєра на основі їх порівняльної оцінки з типовими представниками машин, які здійснюють однотипні операції. Економічний ефект від використання трубчастого ланцюгового конвеєра становить 15170 грн.

ЗМІСТ

ВСТУП		
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1	Аналіз стану досліджень скребкових механізмів та машин	8
1.2	Аналіз теоретичних результатів досліджень скребкових механізмів та машин	15
1.3	Робочі орган трубчатих скребкових конвеєрів та їх аналіз	20
1.4	Мета та задачі роботи	26
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ		
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	27
2.1	Дослідження технологічного процесу первинної обробки сільськогосподарської продукції перед транспортуванням	27
2.2	Дослідження синтезу різних типів конвеєрів із розширеними показниками технологічних можливостей	28
2.3	Дослідження динаміки робочих органів трубчатих конвеєрів з ланцюговими приводами	37
2.4	Дослідження руху окремої матеріальної частинки по горизонтальному сити	40
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
3.1	Програма проведення досліджень	45
3.2	Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень	46
3.3	Методика по проведенню дослідження транспортування сільськогосподарської продукції у трубчастому скребковому	50

ланцюговому конвеєрі

4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	52
4.1	Результати експериментів для трубчастих ланцюгових конвеєрів	52
4.2	Графоаналітичні результати здійснення сепарації сільськогосподарської продукції трубчастим скребковим конвеєром	55
4.3	Результати досліджень для транспортування сільськогосподарської продукції системою трубчастого скребкового конвеєра	57
4.4	Результати досліджень скребкових робочих органів конвеєрів для транспортування сільськогосподарської продукції	60
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ	62
5.1	Аналіз виробничих небезпек під час виробництва	62
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій	64
5.3	Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва	68
5.4	Розробка заходів щодо захисту населення	72
6	Економічна ефективність	73
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Згідно аналізу сучасних методів транспортування сипких матеріалів демонструє, що існуюче обладнання за такими параметрами, як продуктивність, ефективність і надійність, не повністю відповідає актуальним вимогам виробництва. При транспортуванні зернових матеріалів і кормових сумішей, які використовуються в годівлі тварин і птиці, широко застосовується конвеєрний транспорт, зокрема, трубчасті транспортери забезпечують безпечне та ефективне переміщення необхідної кількості кормосуміші на задану відстань у встановлені терміни.

Водночас, скребкові конвеєри, що переміщують сипучі сільськогосподарські матеріали у направляючих трубах різної форми, мають обмежений функціонал, оскільки забезпечують виконання лише транспортних завдань, а важливий напрям їх удосконалення є розширення функціональних можливостей і підвищення експлуатаційних показників шляхом інтеграції в технологічний процес функцій одночасного транспортування та сепарації сипких матеріалів.

Таким чином, актуальним завданням є розробка нових конструкцій трубчастих скребкових конвеєрів, визначення їх конструктивно-кінематичних параметрів, що дозволяють розширити технологічні можливості, зменшити витрати енергії та матеріалів, а також поліпшити умови експлуатації. Крім того, важливим є створення методики проектування робочих органів цих механізмів, що має значний народногосподарський потенціал.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз стану досліджень скребкових механізмів та машин

Сучасний стан розвитку сільськогосподарського виробництва України спрямований на перехід до ринкових відносин, що обумовлює необхідність якісного розширення асортименту машин шляхом впровадження прогресивних технологій виробництва та машин. Це супроводжується використанням нових типів механізмів, спрямованих на підвищення їх продуктивності.

Основою для досліджень у сфері переміщення сільськогосподарської продукції сільськогосподарськими машинами є роботи як українських, так і зарубіжних учених, які займалися проєктуванням і оптимізацією параметрів машин безперервної дії. Значний внесок у формування наукових основ теорії проєктування таких машин зробили О.А. Бурлак [1], Б.М. Гевко [2], І.Б. Гевко [3, 27], С.М. Герук [4-6], Krzysztof Cenacewicz [30] та інші. Дослідження параметрів і режимів роботи скребкових конвеєрів залежно від властивостей транспортувальних матеріалів представлені у працях О.О. Горошко [7], С.М. Герука [8], Р.М. Рогатинського [18], О.А. Токарчука [21] та інших.

Автоматизованим розрахункам і проєктуванню машин безперервного транспорту присвячені праці О.Л. Ляшука [13], О.А. Токарчука [22], Р.М. Рогатинського [18], L. Q. Chena[23-24] й інших. У дослідженнях Ю.А. Пертена [17] викладено класифікацію скребкових конвеєрів, визначено режими та умови їх експлуатації, а також розглянуто питання статичних і динамічних навантажень, надійності й експлуатації конвеєрів.

Математичне моделювання піднімально-транспортних машин розглянуто в роботах Р.М. Рогатинського [18], М.Б. Сокола [19]. Особливості застосування скребкових конвеєрів на машинобудівних підприємствах і в сільському господарстві висвітлено у працях О.Л. Ляшука [20] та Dolipski, M.,Remiorz, E.,Sobota, P [25].

У дослідженнях О.А. Бурлаки [1] розкрито аспекти використання скребкових конвеєрів у зернозбиральних комбайнах, тоді як С.М. Герук [5], О.Л. Ляшука [20] і М.В. Sokil, О.Л. Lyashuk, А.Р. Dovbush [26] проаналізували розрахунок окремих деталей цих механізмів. Теоретичні основи проєктування машин безперервного транспорту, експериментальні дослідження й аналіз їх роботи розглянуто в працях Б.М. Гевка [3], І. Gevko, О. Lyashuk, А. Djachun, А. Dovbush [27] та інших.

Перспективи наукових досліджень пов'язані з вирішенням задач взаємодії сипких матеріалів із робочими органами машин, а також їх проєктуванням для використання в різних галузях: машинобудуванні, сільському господарстві, харчовій промисловості, будівництві, комунальному господарстві тощо.

Дослідження процесів сепарації коренеплодів, фруктів і овочів, а також видавлювання соків виконані В.С. Ловеїкіним [12]. Математичні моделі технологічних процесів транспортування, змішування й віджиму матеріалів розроблено в роботах Б.М. Гевка [2], Р.М. Рогатинського [18], , І.Б. Гевка [27].

Скребкові конвеєри є одним із найпоширеніших засобів для безперервного транспортування сипких матеріалів у різних галузях промисловості. Вони відзначаються різноманітністю конструктивних схем [14-15,]. Тому актуальним завданням є систематизація конструктивних рішень скребкових конвеєрів, що може бути корисною для вдосконалення трубчастих конвеєрів, які характеризуються специфічними особливостями транспортування вантажу [16]. Основним методом переміщення вантажу в цих конструкціях є волочіння, яке забезпечує низькі механічні зусилля та невисокі енерговитрати під час транспортування.

Ключовим аспектом є взаємодія скребоків із сипким матеріалом, що транспортується, оскільки це визначає закономірності руху вантажу в конвеєрі. Залежно від способу переміщення матеріалу, скребкові конвеєри поділяються на три основні типи:

1. Конвеєри суцільного волочіння і порційного переміщення матеріалу.

2. Конвеєри з контурними зануреннями.

3. Скребкові живильники (лише з відкритим профілем жолоба).

Перші два типи можуть мати як відкритий, так і закритий профіль поперечного перерізу жолоба. На основі цієї класифікації було розроблено систематизовану схему, наведено на рис. 1.1.

Для забезпечення високої продуктивності скребкових конвеєрів важливим елементом є натяжний пристрій, що підвищує попередній натяг тягового органу (ланцюга або троса). У роботах [4, 9] розглянуто конвеєри з зануреними скребками, які дозволяють зменшити енергоємність транспортування та уникнути заклинювання вантажу в закритих профілях жолоба. У цих конвеєрах функцію скребків виконують рамки, конфігурація яких повторює профіль поперечного перерізу жолоба, але вони розімкнуті у верхній частині (рис. 1.2).

У конвеєрах із зануреними скребками вантаж обтікає елементи скребків, що висуває високі вимоги до стабільності руху скребків. Для цього скребки жорстко закріплюються на тяговому органі, який має мінімальну кількість ланок. Ця конструкція є типовою для робочих органів такого типу конвеєрів.

Однак конвеєри із зануреними скребками мають значну металоємність робочих органів і ряд обмежень, зокрема:

- Жорсткі вимоги до фізико-механічних властивостей транспортувального матеріалу.

- Низькі швидкості транспортування та вузький діапазон допустимих швидкостей, які індивідуально визначаються для кожного типу матеріалу.

- Безперервність потоку вантажу, що забезпечується зчепленням матеріалу зі скребками.

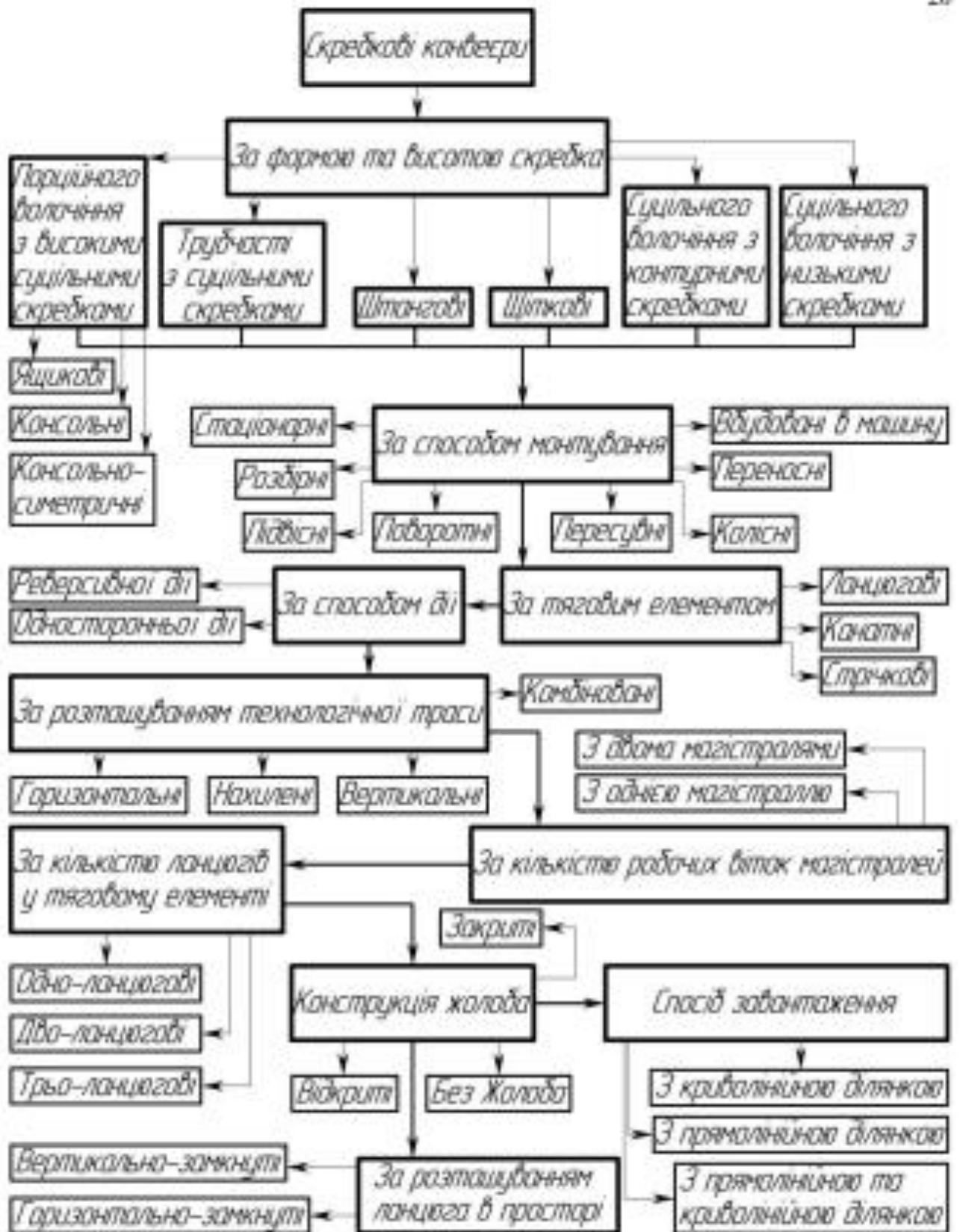


Рис. 1.1 - Загальна класифікація скребкових конвеєрів

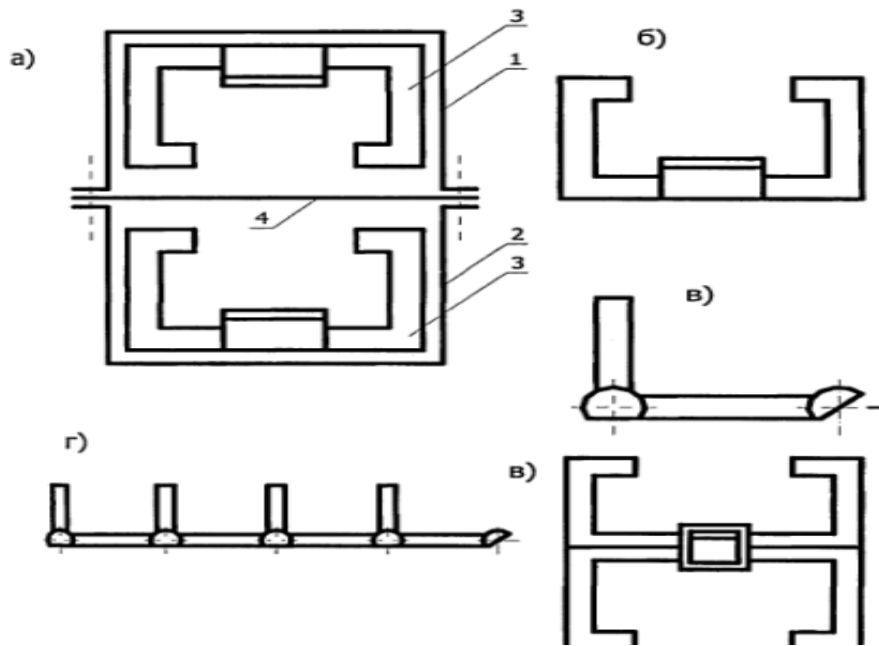


Рис.1.2 - Конструктивні елементи скребкового конвеєра

а) – поперечний переріз конвеєра (1–жолоб верхньої гілки; 2 – жолоб нижньої гілки; 3 - V- подібний контурний скребок; 4 - днище); б), в) – вигляд спереду і збоку V – подібного скребка; г – ланцюг з V – подібних скребків; д – H- подібний скребок.

На робочій ділянці кожен скребок переміщає окрему порцію матеріалу, формуючи її напружений стан. Для стабілізації потоку вантажу і зниження енергоємності транспортування було запропоновано технічні рішення, які передбачають кріплення до тягового органу стабілізуючих елементів (канатів або ланцюгів) між скребками [14, 16].

Необхідність транспортування сипких матеріалів під будь-якими кутами нахилу, включно зі складними криволінійними траєкторіями, а також забезпечення переміщення дрібнодисперсних вантажів зумовили розробку скребкових конвеєрів із закритим жолобом. Конструкція таких конвеєрів, уперше запропонована к.т.н. В.К. Дьячковим, представлена на рис. 1.3. Вона включає такі елементи:

- **Приводна станція**, що складається з двигуна з редуктором, привідного вала та зірочок.

- **Натяжна станція**, розташована в хвостовій частині, з гвинтовими механізмами для забезпечення необхідного мінімального натягу тягового органу.
- **Поворотні станції**, які встановлюються у вузлах сполучення криволінійних ділянок траси та складаються з напрямних блоків.
- **Тяговий робочий орган**, розташований усередині герметичного трубчастого жолоба.

Закритий трубчастий профіль жолоба дозволяє транспортувати матеріали по вертикальних, горизонтальних і похилих ділянках під кутом до 90°. Водночас, завдяки круглій формі поперечного перерізу жолоба, такі конвеєри мають меншу металоємність порівняно з коробчастими аналогами, хоча вони все ще мають ряд експлуатаційних недоліків:

1. **Висока енергоємність транспортування.**
2. **Зношування конструктивних елементів** (жолоба, тягових органів, приводних зірочок).
3. **Нерівномірність руху тягового органа**, що ускладнюється зносом канатів і ланцюгів, а також викликає проблеми із зачепленням зубців приводних зірочок.

Особливості експлуатації

Для трубчастих скребкових конвеєрів характерні специфічні експлуатаційні проблеми:

1. Зношування ланок ланцюгів та зубів зірочок. Згідно з даними [17, 29], знос ланцюгів становить 0,43...2,05 мкм/год, а зубів зірочок – 18,0...30,5 мкм/год.
2. Термін служби зірочок до граничного зносу зубів є в 2–2,5 рази меншим, ніж для ланцюгів. Нерівномірність кроку нових ланцюгів може досягати 4,7 мм, що впливає на ефективність зачеплення.
3. Залежність опору руху від швидкості тягових органів. При збільшенні швидкості руху від 0,73 до 2,03 м/с опір зменшується вдвічі, але

при подальшому зростанні швидкості динаміка змін стає несуттєвою, а іноді опір навіть збільшується [28].

Моделювання процесів.

У роботах [10, 12, 30] представлено математичні та динамічні моделі роботи механізмів безперервної дії, зокрема скребкових канатних конвеєрів. Робочий орган моделюється як пружне одновимірне тіло, що дозволяє описувати динаміку горизонтальних і вертикальних віток при переміщенні сипких матеріалів по криволінійних траєкторіях.

Таке моделювання є важливим інструментом для оптимізації параметрів транспортування і підвищення ефективності роботи скребкових конвеєрів, зокрема для задач, пов'язаних із зменшенням енергоємності, покращенням зносостійкості та підвищенням надійності конструкції.

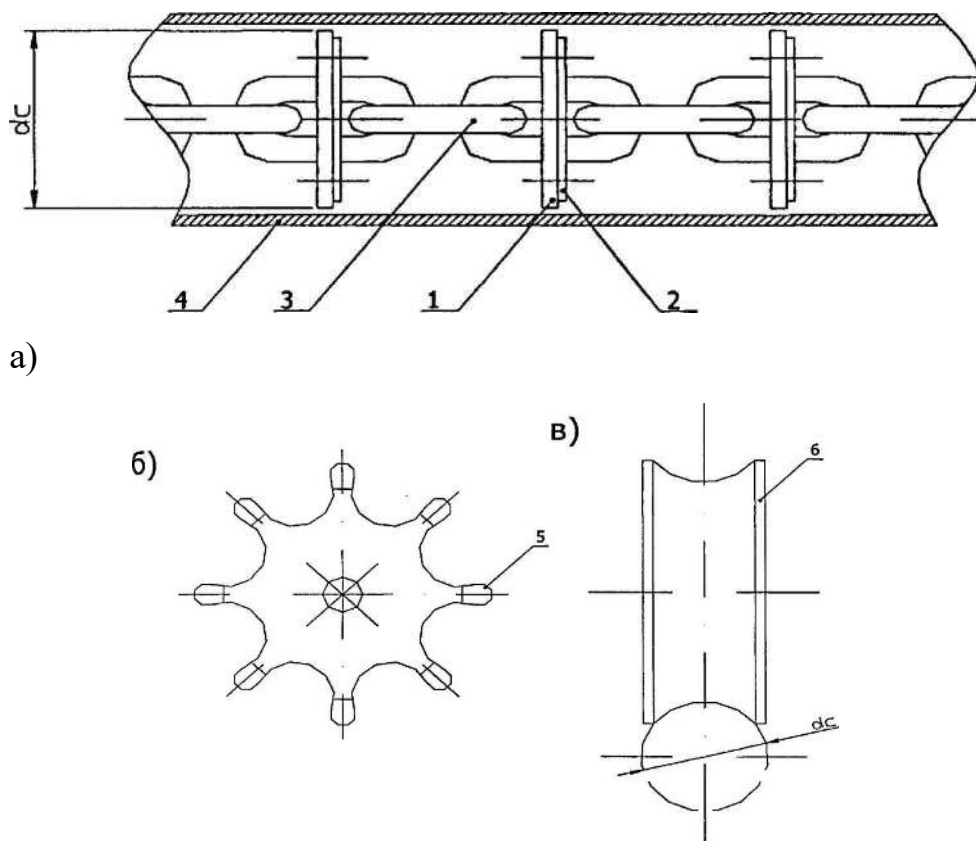


Рис.1.3 - Конструктивні елементи трубчастого скребкового конвеєра:

1) пластиковий диск (скребок); 2) металева шайба; 3) ланцюг; 4) вантажонесучий орган; 5) приводна і натяжна зірочки; 6) обвідний блок.

1.2. Аналіз теоретичних результатів досліджень скребкових механізмів та машин

Теоретична основа та вихідні дані для дослідження скребкових конвеєрів. Дослідження скребкових конвеєрів базуються на роботах, присвячених:

- теорії переміщення частинок сипких матеріалів;
- механіці сипких матеріалів;
- проектуванню та оптимізації параметрів конвеєрів безперервної дії;
- патентних і наукових розробках нових конструктивних і технологічних рішень.

Особливості роботи трубчастих скребкових конвеєрів та вплив конструктивних і робочих параметрів.

Швидкість транспортування залежить від опору руху вантажу, діаметра труби, а також фізико-механічних характеристик сипкого матеріалу, таких як внутрішнє зчеплення. Це питання недостатньо досліджене.

Коефіцієнт опору руху сипкого матеріалу приймають рівним 0,2 для вертикальних ділянок і визначають за спеціальними формулами для контурних скребків.

Коефіцієнт заповнення жолоба вантажем (0,8–0,9) залежить від способу завантаження і кроку скребків. У трубчастих конвеєрах крок обґрунтовується з урахуванням напруженого стану матеріалу.

Енергетичні втрати поділяються на розподілений опір переміщенню матеріалу в скребкових конвеєрах складає до половини сумарного натягу, а в окремих випадках — близько 20%, а значний вплив на енергетичний баланс мають зосереджені опори та сили тертя тягового органу по жолобу [13].

Коефіцієнти тертя сипких матеріалів по сталі та їх внутрішнього тертя досліджувалися багатьма авторами [13, 27], зокрема максимальний натяг тягового органу визначають методом обходу по контуру. Для горизонтальних ділянок використовують пропорційне підсумовування

розподілених опорів, для криволінійних — формулу Ейлера, що враховує тертя нерозтяжного каната на штовхачі [14, 26, 25].

Дослідження показали, що:

1. Продуктивність трубчастих конвеєрів досягає 4–53 м³/год залежно від діаметра труб (108–219 мм) і швидкості транспортування (0,16–0,32 м/с).

2. На вертикальних ділянках до 10 м виникають сили тертя між сипким матеріалом і внутрішньою поверхнею кожуха [14].

Світовий досвід серед програмних рішень для проектування та оптимізації трубчастих конвеєрів особливе місце займає комплекс Schrage Rohrketten-system GmbH Conveying Systems (рис. 1.4), створений у ФРН.

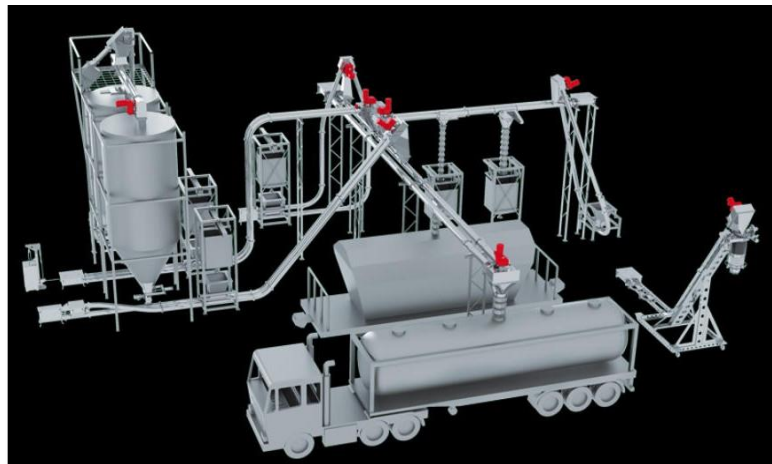


Рис. 1.4 - Трубчатий ланцюговий конвеєр

Використання трубчастих скребкових конвеєрів дозволяє ефективно транспортувати сипкі матеріали в умовах складних трас, однак потребує подальшого дослідження в таких аспектах:

1. Зменшення енерговитрат і збільшення надійності конструктивних елементів.
2. Оптимізація параметрів кроку і заповнення жолоба з урахуванням властивостей матеріалів.
3. Дослідження впливу швидкості транспортування на знос тягових органів і жолоба.

Підвищення ефективності таких систем можливе за рахунок впровадження нових матеріалів, зменшення опору руху вантажу і вдосконалення конструкцій натяжних механізмів та приводів.

У 1985 році була створена перша установка трубчастого конвеєра, яка з того часу використовується для транспортування різноманітних матеріалів. Данська фірма CABLEVEY розробила конструкції, що забезпечують транспортування сипучих матеріалів (зернові культури, порошки, пластівці, гранули), а також дрібних деталей, стружки чи пуху через закритий простір без використання повітря.

Основні характеристики: довжина транспортування — до 1240 м., продуктивність — до 49420 кг/год.

Дані системи ефективно працюють у багатьох галузях, де потрібна герметичність і точність транспортування (рис. 1.5).

Система DALTEK для сільськогосподарських комплексів

Конструкція транспортної системи фірми DALTEK (Данія) орієнтована на замкнутий цикл транспортування, зокрема для подачі кормів у свинарських комплексах. Особливості:

- Замкнута траса руху корму від завантажувальних бункерів через приміщення комплексу до зворотного завантаження.
- Можливість транспортування із точним дозуванням добавок. Для виконання змішування та одночасного транспортування кормових сумішей потрібна розробка спеціальних робочих органів, які поєднують обидва процеси (рис. 1.6).

Динамічні властивості трубчастих канатних скребкових конвеєрів

На рис. 1.7 представлено установку трубчастого канатного скребкового конвеєра, дослідження якої показали:

1. Резонансні явища:

- Амплітуда резонансних коливань робочого органа в 3–4 рази перевищує амплітуду нерезонансних.
- Це створює підвищені динамічні напруження в системі.

2. *Динамічні напруження:*

- У резонансних умовах напруження перевищують значення, характерні для усталених процесів транспортування.

Ці особливості вимагають удосконалення конструкцій робочих органів і налаштування параметрів системи для уникнення негативних ефектів.

Висновки:

1. CABLEVEY і DALTEK забезпечують надійне транспортування матеріалів у герметичних умовах, що розширює можливості використання конвеєрів у промисловості й сільському господарстві.

Динамічні дослідження канатних скребкових конвеєрів вказують на необхідність: зменшення впливу резонансних явищ та поліпшення міцності конструктивних елементів для підвищення надійності транспортування.

2. Подальші дослідження та розробка спеціальних робочих органів дозволять покращити ефективність технологічних процесів, таких як змішування і транспортування одночасно.



а)



б)

Рис. 1.5 - Конструкції данської фірми CABLEVEY

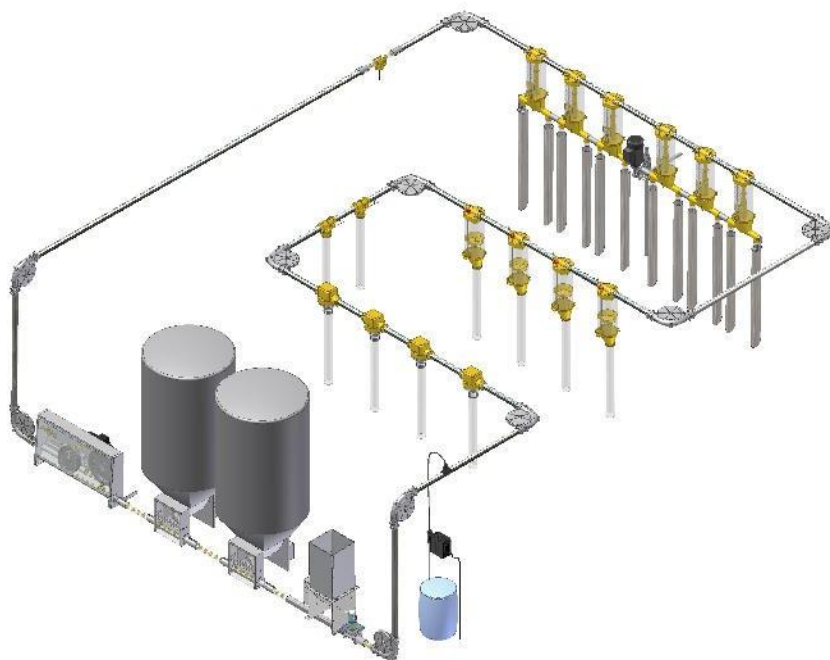


Рис.1.6 - Система транспортування сухого корму фірми DALTEK (Данія)

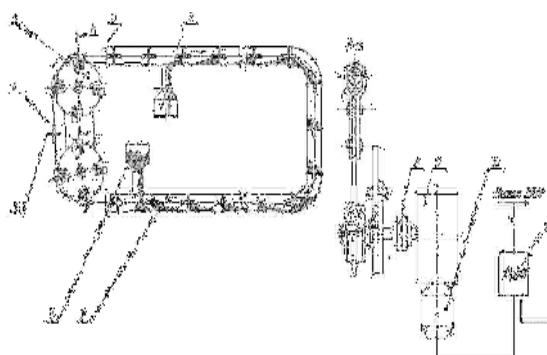


Рис. 1.7 - Загальний вигляд експериментальної установка трубчастого скребкового канатного конвеєра

1.3 Робочі орган трубчатих скребкових конвеєрів та їх аналіз

Трубчасті скребкові конвеєри характеризуються використанням круглих або кругоподібних скребкових робочих органів. Їх конструкція залежить від:

- Реологічних властивостей матеріалу, що транспортується.
- Довжини та конфігурації технологічних трас.

У більшості випадків ці конвеєри застосовуються для роздавання кормів у тваринництві. Наприклад, транспортна магістраль шайбового конвеєра італійської фірми Falcon (рис. 1.8) демонструє типові рішення для транспортування сипких матеріалів.

Недоліки конструкцій

1. Масивність робочого органу:

- підвищує зусилля тертя;
- збільшує енерговитрати на транспортування.

2. Ремонтопридатність:

- ускладнена заміна пошкодженої ланки.

3. Знос і питомий тиск:

- значна маса ланцюгів спричиняє високий питомий тиск у шарнірних зонах і контактах скребків із трубою, що призводить до підвищеного зношення та зростання енерговитрат.

Альтернативні рішення щодо підвищення ремонтпридатності та зниження масивності розроблені нові конструкції робочих органів:

- на рис. 1.10 зображено схему, що забезпечує заміну скребків при їх пошкодженні.

- рис. 1.11 демонструє іншу конструкцію, основним недоліком якої є підвищена металомісткість та масивність.

Особливості конструкцій провідних виробників

1. Spiroflow Limited (Великобританія):

Робочий орган представлений паралельно розташованими зовнішніми пластинами (рис. 1.12).

Переваги:

- Висока навантажувальна здатність.
- Можливість роботи на довгих технологічних трасах.

Привідний механізм - зуби зірочки взаємодіють із заокругленими поверхнями центральних пластин, забезпечуючи ефективну передачу зусиль.

2. Матеріали для скребків:

Використовуються різні матеріали залежно від умов експлуатації:

- Сталь, чавун для міцності (рис. 1.13а).
- Гума, пластмаса для зниження тертя (рис. 1.13б).
- Комбінації матеріалів: сталь або чавун із бандажами з гуми чи пластмаси.

Висновки:

1. Вибір конструкції та матеріалів для трубчастих скребкових конвеєрів залежить від специфіки транспортування та умов експлуатації.

2. Розробка нових робочих органів, спрямована на зменшення маси, енерговитрат і зношення, залишається актуальним напрямком.

3. Інноваційні рішення, запропоновані компаніями Falcon та Spiroflow Limited, демонструють можливості модернізації існуючих систем для підвищення їх продуктивності та ефективності.

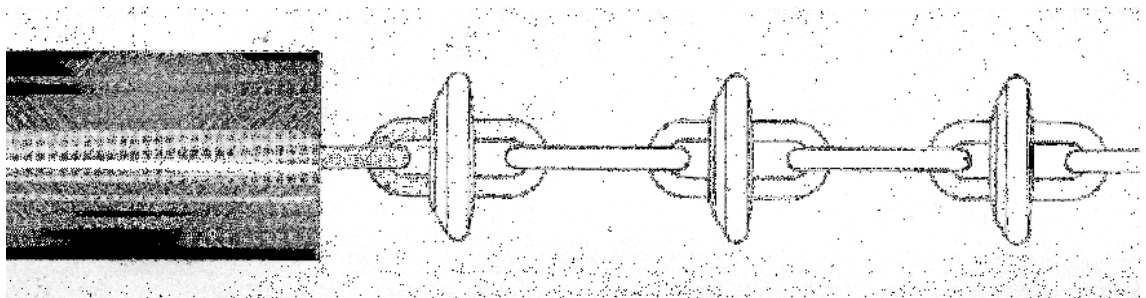


Рис. 1.8 - Транспортна магістраль шайбового конвеєра фірми "Falcon"

Тягові ланцюги бувають зварними і кріпляться до скребків по центру (рис. 1.9 а) або по периферії (рис. 1.9 б).

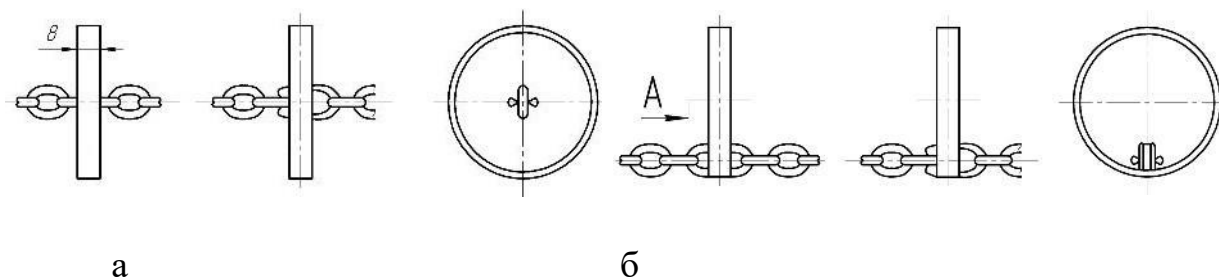


Рис. 1.9 - Варіанти кріплення ланцюгів до скребоків: а – по центру; б – по периферії

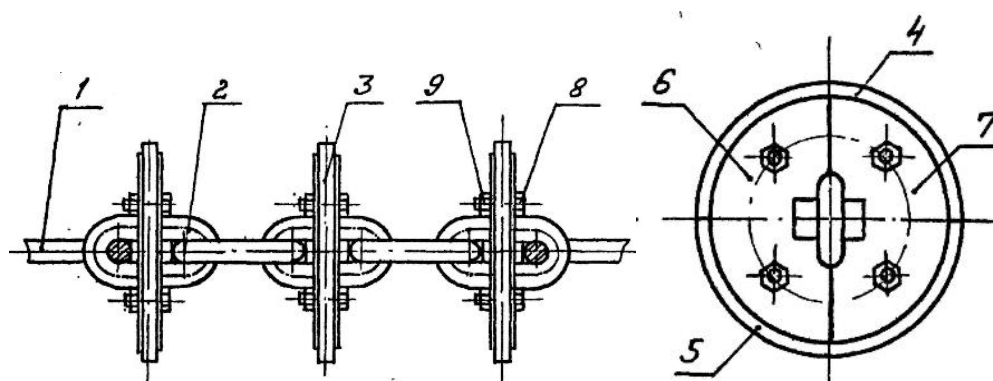


Рис. 1.10 - Конструктивна схема трубчатого скребкового конвеєра

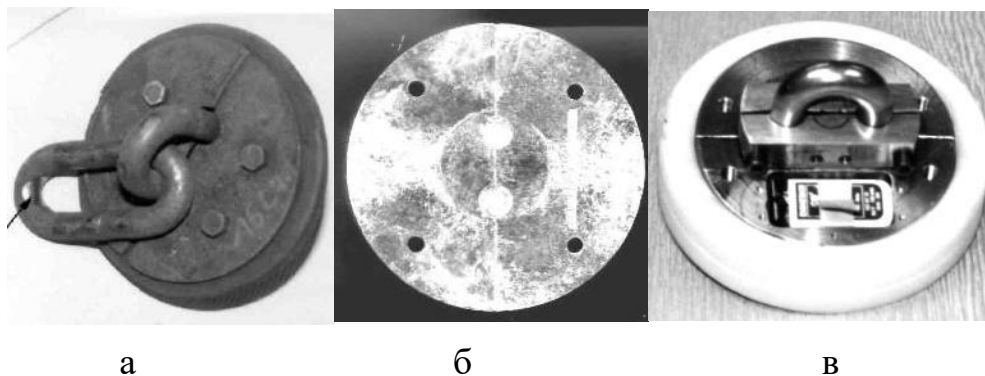
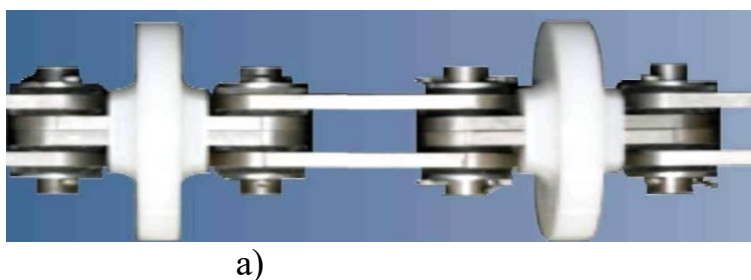


Рис. 1.11 - Варіанти виконання розбірних шайбових скребоків:
а – комбінований з гумовим ободом; б – металеві напівдиски; в – комбінований з пластмасовим ободом.



а)

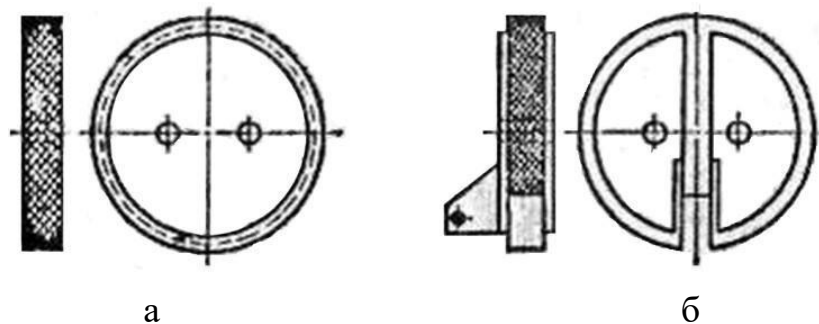


б)



в

Рис. 1.12 - Загальний вигляд робочого органу конвеєра фірми “Spiroflow Limited” а– загальний вигляд; б – робочий орган з привідною зірочкою; в – з матеріалом в процесі його транспортування



а

б

Рис. 1.13 - Варіанти виконання скребків: а – суцільний; б - комбінований

Для забезпечення транспортування сипких матеріалів без пошкодження (наприклад, насінневих зернових культур) було створено скребковий транспортер із ворсистою поверхнею скребків (патент України №21746А, рис. 1.14).

Основні характеристики:

Направляючі труби: жорстко закріплені, покриті антифрикційним матеріалом. Скребки - дискові, із профілем, що відповідає направляючим трубам. Бокові поверхні мають ворсисту радіальну структуру.

Функції вористої поверхні:

- зменшення зазору між внутрішньою поверхнею труби;
- забезпечення бокових зусиль при перекосах скребків;
- захист сипких матеріалів від пошкоджень.

Система очищення скребків.

Для очищення скребків та тягового органа від налипання частинок вантажів застосовується вібраційний пристрій, що працює періодично:

- частота: 750–1500 коливань на хвилину;
- амплітуда: 2–3 мм.;
- скребки з гуми встановлюються у трубу з рекомендованим натягом для самостійного очищення внутрішніх поверхонь під час роботи.

Використання канатно-скребкових конвеєрів:

Канатно-скребкові конвеєри знаходять широке застосування завдяки універсальності:

1. Підходять для горизонтальних, похилих та вертикальних транспортних систем.

2. Використовуються в конструкціях кормопроводів (наприклад, КРС-15, РВК-Ф-74, ОКС-1000, КВД-Ф-1, КВД-Ф-2).

Елементи канатно-скребкових конвеєрів:

- Тяговий орган (ланцюг або канат) із закріпленими шайбами.
- Привідні та натяжні станції.
- Поворотні пристрої.
- Трубопроводи із кормороздавачами.

Автоматизовані системи роздавання кормів:

Прикладом автоматизованих систем є роздавач РКА-1000 (РКА-2000): складається з приводної станції, кормопроводів, дозаторів і бункера, шайбовий конвеєр у кормопроводі забезпечує транспортування корму вздовж годівниці, рівномірно заповнюючи її.

Сфери застосування скребкових трубчастих конвеєрів:

1. Сільське господарство: транспортування зернових, кормів тощо.
2. Харчова промисловість: переміщення сипких харчових продуктів (порошок, гранули, пластівці).
3. Переробна промисловість: сортування та транспортування скляних, металевих або пластикових виробів.

Сучасні дослідження зосереджені на вдосконаленні конструкції окремих компонентів конвеєрів. Однак для розширення сфер застосування

необхідні комплексні дослідження, які б охоплювали всі етапи транспортування.

Вивчення трубчастих скребкових конвеєрів сприяє:

1. Оптимізації енергоспоживання.
2. Зниженню зношення деталей.
3. Розширенню сфер застосування, що є важливим для багатьох галузей промисловості.

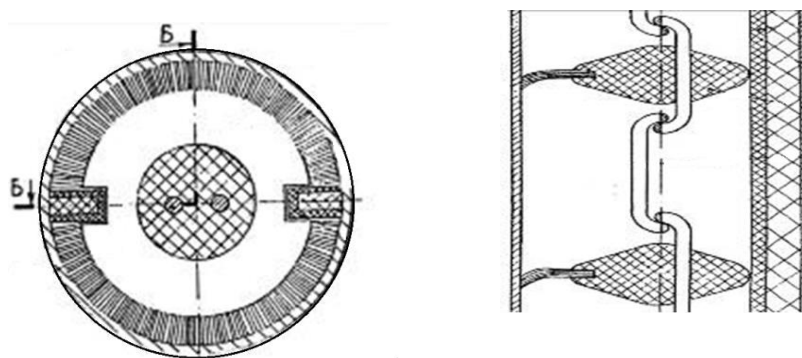


Рис. 1.14 - Скребковий конвеєр з ворсистю поверхнею скребоків

Для обслуговування свиноферм використовують шайбові кормороздавачі КШ-0,5, який наведено на рис. 1.15 з об'ємними груповими дозаторами.

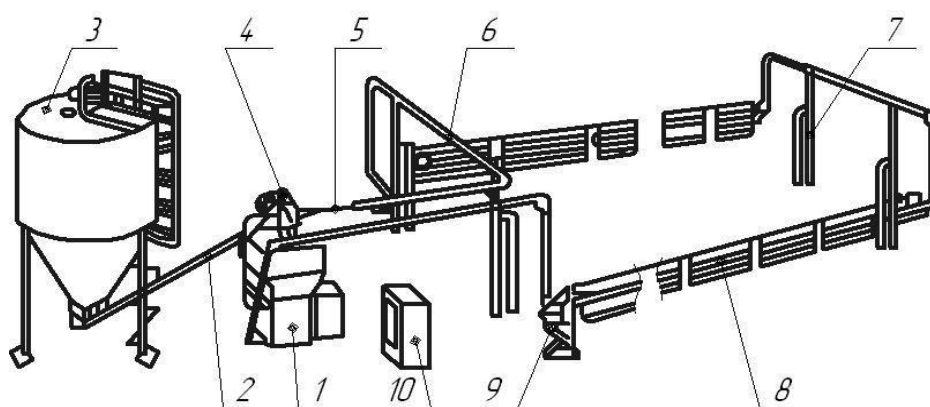


Рис. 1.15 - Структурна схема шайбового кормороздавача КШ-0,5: 1 - привод; 2 - завантажувальний шнек; 3 - бункер-накопичувач; 4 - горловина; 5 - шайбовий канат; 6 - кормопровід; 7 - стояк; 8 - дозатор; 9 - привод дозатора; 10 - шафа керування

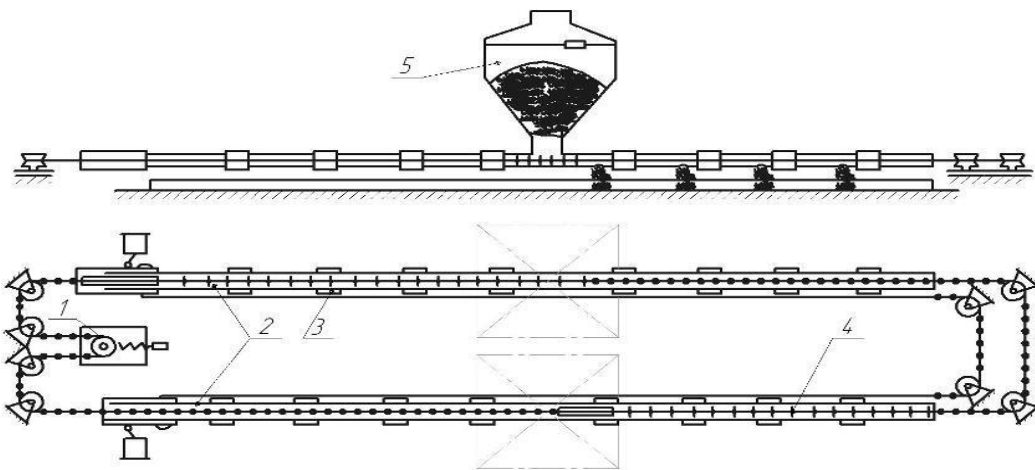


Рис. 1.16 - Конструктивно-функціональна схема кормороздавач РКА-1000: 1-приводна станція; 2-3-кормопровод; 4-шайбовий конвеєр; 5-бункер

1.4 Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності транспортування сипких матеріалів трубчастим скребковим конвеєром.

Для досягнення мети в роботі поставлені і вирішені такі завдання:

- провести аналіз конструкцій засобів для транспортування сипких матеріалів;
- здійснити теоретичні дослідження технологічного процесу та засобів транспортування сипких матеріалів;
- розробити методику та програму проведення дослідження трубчастого скребкового конвеєра;
- провести необхідний комплекс експериментальних досліджень з використанням рівнянь регресії залежності продуктивності, крутного моменту на приводі робочого органа під час транспортування та сепарації сипких матеріалів від режимів роботи конвеєра;

Об'єкт дослідження – процес транспортування сільськогосподарської продукції вздовж криволінійних трас трубчастого конвеєра з різними робочими органами.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів трубчастих конвеєрів з їх характеристиками та функціональним призначенням.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Дослідження технологічного процесу первинної обробки сільськогосподарської продукції перед транспортуванням

Дослідження зосереджені на динамічних процесах, які відбуваються в рамках "технологічного ланцюжка" переробки сипких матеріалів (зернової маси) під час транспортування до місць зберігання через трубчасті конвеєрні лінії. У цьому контексті розроблено математичні моделі, що описують коливання сипкого матеріалу вздовж сепаруючого бункера під час сепарації, а також динаміку системи "ланцюговий конвеєр – сипкий матеріал" (зокрема зерна в процесі транспортування). Ці моделі представлені як крайові задачі для нелінійних диференціальних рівнянь із частинними похідними у змінних Ейлера, що містять мішані похідні за просторовими та часовими координатами. Для аналізу запропонованих моделей використано аналітичні методи, розроблені для подібних класів систем [10, 117, 26]. Це дозволило отримати відносно прості математичні залежності, які описують параметри динаміки сипкої маси під час транспортування ланцюговими конвеєрами. Визначені параметри є ключовими для оцінки продуктивності, ефективності та надійності експлуатації цих механізмів.

Технологічні процеси підготовки сипких матеріалів різних сільськогосподарських культур для переробки, зберігання чи реалізації включають низку послідовних операцій. Їхня автоматизація значно знижує собівартість кінцевого продукту. Основними етапами є сушіння (доведення вологості до стандарту), сепарація, калібрування, транспортування на склад або підготовка до реалізації (зокрема фасування). Останніми десятиліттями активного впровадження набули методи передпосівної обробки насіння із використанням сучасних засобів біологічного збагачення ґрунтів, а також відповідні технологічні машини. Це сприяло прискоренню та вдосконаленню процесів якісної підготовки зерна чи насінневого матеріалу, водночас

скорочуючи трудомісткі операції. Висока продуктивність і конструктивна простота цих машин є важливими факторами їхнього поширення.

Однак, попри значний прогрес, обсяг досліджень динамічних процесів у цій сфері залишається обмеженим, особливо щодо аналізу складних явищ під час транспортування сипких матеріалів. Це пов'язано з розмаїттям структур, геометричних форм і фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів. Застосування машин із керованими параметрами, які дозволяють регулювати амплітуду та частоту коливань робочих органів сепаруючого бункера, не завжди забезпечує очікувані результати. Якість кінцевого продукту та продуктивність обладнання значною мірою залежать від властивостей матеріалу. Саме дослідження транспортних процесів, побудова математичних моделей і визначення кінематичних характеристик дозволяють оптимізувати режими роботи машин для досягнення максимальної ефективності.

2.2 Дослідження синтезу різних типів конвеєрів із розширеними показниками технологічних можливостей

Розрахунок і проектування транспортних механізмів зазвичай виконуються на основі типових схем, які часто не враховують особливості та специфіку сільськогосподарського виробництва. Це створює необхідність пошуку нових рішень для вдосконалення технологічних і експлуатаційних параметрів робочих органів, що сприятиме підвищенню продуктивності та покращенню якості транспортних процесів, зокрема зменшенню травмування сипких матеріалів.

У межах дослідження виконано порівняльний аналіз техніко-економічних показників транспортерів для переміщення сипких матеріалів за криволінійними траєкторіями та обґрунтовано їх вибір. Пріоритет було надано трубчасто-скребковим, пневматичним, жорстким складним транспортерним системам із кількома перевантажувальними вузлами, а

також гнучким гвинтовим конвеєрам. Для розробки відповідної моделі було враховано вартість зазначених типів конвеєрів.

З метою структурного синтезу й оптимізації транспортних механізмів (ТМ) проведено генерацію різних компонок механізмів, що максимально відповідають їхньому функціональному призначенню за мінімальних витрат [5, 7, 26]. Відзначено високу здатність робочих органів (РО) забезпечувати виконання кількох функціональних операцій, що дозволяє досягати високої продуктивності, навіть за складних траєкторій транспортування [14, 17].

Аналіз показав вплив різних чинників на процес транспортування сипких матеріалів із використанням ланцюгових робочих органів. Проведено структурно-схематичний синтез із застосуванням морфологічного аналізу [7], визначено складові елементи та їхні зв'язки. На основі морфологічної матриці виділено основні конструктивні ознаки, що подано в таблиці 2.1. Для кожної альтернативної ознаки зазначено коефіцієнт важливості. Матриця структурована у вигляді стовпців із заголовками, що позначають морфологічні ознаки елементів ланцюгового конвеєра та їх взаємозв'язки.

На основі результатів структурного синтезу визначено ключові морфологічні ознаки: механізм транспортування вантажу, гнучкий елемент, подавальні диски, конструкції приводних елементів, бункер, система вивантаження пошкодженого матеріалу, двигун-редуктор. Морфологічну таблицю доповнено новими альтернативами кожної ознаки, що дозволяє розширити її можливості. Для спрощення моделі виділено функціонально важливі елементи, що сприяє мінімізації кількості варіантів компоновки.

Морфологічна матриця:

$$N = K_1 \times K_2 \times K_3 \times \dots \times K_j = \prod_{j=1}^n K_j \quad (2.1)$$

$$N_{TC} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 2.1 \\ 2.2 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \end{array} \right| \end{array} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 - Морфологічна таблиця конструктивних елементів
ТМ

1. Механізми транспортування вантажу	2. Гнучкий елемент	3. Подавальні диски	4. Конструкції привідних елементів
1.1. U-подібне розміщення 1.2. S-подібне розміщення 1.3. Прямолінійне горизонтальне розміщення	2.1. Канат 2.2. Ланцюг	3.1. Круглий диск 3.2. Круглий диск з отворами 3.3. Фасонний диск	4.1. Привідна зірочка 4.2. Еласто – металічний шарнір (тип 1) 4.3. Еласто – металічний шарнір (тип 2)
5. Механізм завантаження		6. Конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу	7. Привід
5.1. Гравітаційний 5.2. Примусовий 5.3. Роздільний 5.4. З калібруванням		6.1 Жорсткий шнек 6.2. Гнучкий шнек 6.3. Безвальний шнек 6.4. Секційний шнек	7.1. Електродвигун 7.2. Пнеumoпривід 7.3. Вібропривід 7.4. Гідропривід

Морфологічна модель була представлена у вигляді матриці шляхом числового позначення альтернатив, розташованих у стовпцях морфологічної таблиці (табл. 2.1). Особливу увагу приділено кількості варіантів конструктивного виконання транспортуючих механізмів, що входять до складу морфологічної матриці (табл. 2.2). Загальна кількість можливих варіантів становить $N = 3456$, що ускладнює їх повний перебір через значні часові витрати, необхідні для вибору оптимального рішення.

Для вирішення цієї проблеми було застосовано метод синтезу ієрархічних груп, заснований на морфологічному аналізі [11]. Цей підхід

передбачає поділ механічної системи на кілька ієрархічних рівнів, кожен із яких включає окремі конструктивні елементи:

Перший рівень: конструктивні елементи, що забезпечують продуктивність і якість технологічного процесу.

Другий рівень: елементи, що здійснюють вибірковий вплив на виконання технологічного процесу.

Третій рівень: елементи, що беруть участь у роботі системи, але не впливають на реалізацію технологічного процесу.

Особливу увагу приділено економічній доцільності, ціні та вартості експлуатації під час розроблення механічної системи.

Проведення морфологічного аналізу дозволило відібрати найбільш доцільні альтернативи конструктивних елементів, що суттєво скоротило витрати часу та зусиль на пошук оптимальних рішень. Це забезпечило отримання раціональних конструктивних рішень із мінімальними ресурсними витратами.

Запропонований метод синтезу ієрархічних груп, реалізований на основі морфологічного аналізу, показав свою ефективність у створенні оптимальної конструкції транспортуючих механізмів.

$$N_{z,i} = (K_{11}k_{11} \cdot K_{12}k_{12} \cdot K_{13}k_{13} \cdot K_{1i}k_{1i}) + (K_{21}k_{21} \cdot K_{22}k_{22} \cdot K_{23}k_{23} \cdot K_{2i}k_{2i}) + \dots + \\ + (K_{z1}k_{z1} \cdot K_{z2}k_{z2} \cdot K_{z3}k_{z3} \cdot K_{zi}k_{zi}) = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_{zi}k_{zi} \quad ,$$

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; K_{zi} – альтернатива конструктивного елемента певного ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивного елемента певного ієрархічного рівня. k_{zi} – коефіцієнт, що визначає економічну доцільність використання того чи іншого конструктивного елемента (табл. 2.2) .

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти конструктивних елементів

Механізми транспортування вантажу	Гнучкий елемент	Подавальні диски	Конструкції привідних елементів	Механізм завантаження	Конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу	Привід
$k_{11}=1,1\dots1,2$ $k_{12}=1,2\dots1,3$ $k_{13}=1,0\dots1,1$	$k_{21}=1,0\dots1,1$ $k_{22}=1,3\dots1,6$	$k_{31}=1,0\dots1,2$ $k_{32}=1,4\dots1,7$ $k_{33}=1,5\dots1,8$	$k_{41}=1,6\dots1,9$ $k_{42}=1,7\dots1,9$ $k_{43}=1,8\dots2$	$k_{51}=1,0\dots1,1$ $k_{52}=1,2\dots1,4$ $k_{53}=1,4\dots1,6$ $k_{54}=1,3\dots1,5$	$k_{61}=1,5\dots1,7$ $k_{62}=1,6\dots1,9$ $k_{63}=1,9\dots2,3$ $k_{64}=1,7\dots2,2$	$k_{71}=1,1\dots1,2$ $k_{72}=1,3\dots1,6$ $k_{73}=1,4\dots1,8$ $k_{74}=1,6\dots1,9$

На рисунку 2.1 представлено запропоновану модель транспортно-технологічної системи з ланцюговим робочим органом. Для систематизації конструктивних елементів було застосовано ієрархічне групування:

Перша ієрархічна група включає елементи, які безпосередньо забезпечують процес транспортування сипкого матеріалу: 1. Механізм транспортування сипкого матеріалу. 2. Робочий орган. 3. Подавальні диски.

Друга ієрархічна група включає елементи, що забезпечують функціонування першої групи: 4. Привідна зірочка. 5. Бункер.

Третя ієрархічна група охоплює елементи, які впливають на допоміжні процеси системи: 6. Конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу. 7. Привід.

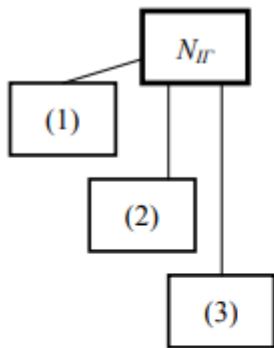
Для кодування конструктивних елементів конвеєрів застосовано символ «i», що змінюється в межах від 1 до ∞ . Кожен тип елемента має власний код:

- 1i – механізм транспортування матеріалу.
- 2i – канати або ланцюги.
- 3i – подавальні диски.
- 4i – приводні зірочки.
- 5i – бункери.
- 6i – конструкції для вивантаження пошкодженого матеріалу.
- 7i – приводи.

Якщо конструкція містить кілька ідентичних елементів, їх кількість позначають степенем, наприклад: дві приводні зірочки – $(42)2(42)^2(42)2$.

Якщо є кілька однакових елементів одного виду, наприклад два бункери, це записується як $(5)2(5)^2(5)2$.

Для першого ієрархічного рівня були згенеровані альтернативи (відображені на рис. 2.1), що включають різні комбінації конструктивних елементів із запропонованої схеми кодування. Це дозволяє забезпечити ефективну класифікацію та розгляд усіх можливих варіантів для подальшого аналізу та оптимізації транспортно-технологічної системи.



$$N_{IT} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i = 3 \cdot 2 \cdot 3 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 4 = 46$$

(1)1₁, (1)1₂, (1)1₃;

(1)2₁, (1)2₂;

(1)3₁, (1)3₂, (1)3₃;

(2)4₁, (2)4₂, (2)4₃;

(2)5₁, (2)5₂, (2)5₃, (2)5₄

(3)6₁, (3)6₂, (3)6₃, (3)6₄.

(3)7₁, (3)7₂, (3)7₃, (3)7₄.

(1) – перший ієрархічний рівень; (2) - другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень

Рис.2.1 - Модель механічної системи «гнучкий канатний і ланцюговий конвеєр»

- першою ієрархічний рівень: (1)1₁ - (1)1₃ (рис. 2.2); (1)2₁ - (1)2₂ (рис. 2.3.); (1)3₁ - (1)3₃ (рис. 2.4);

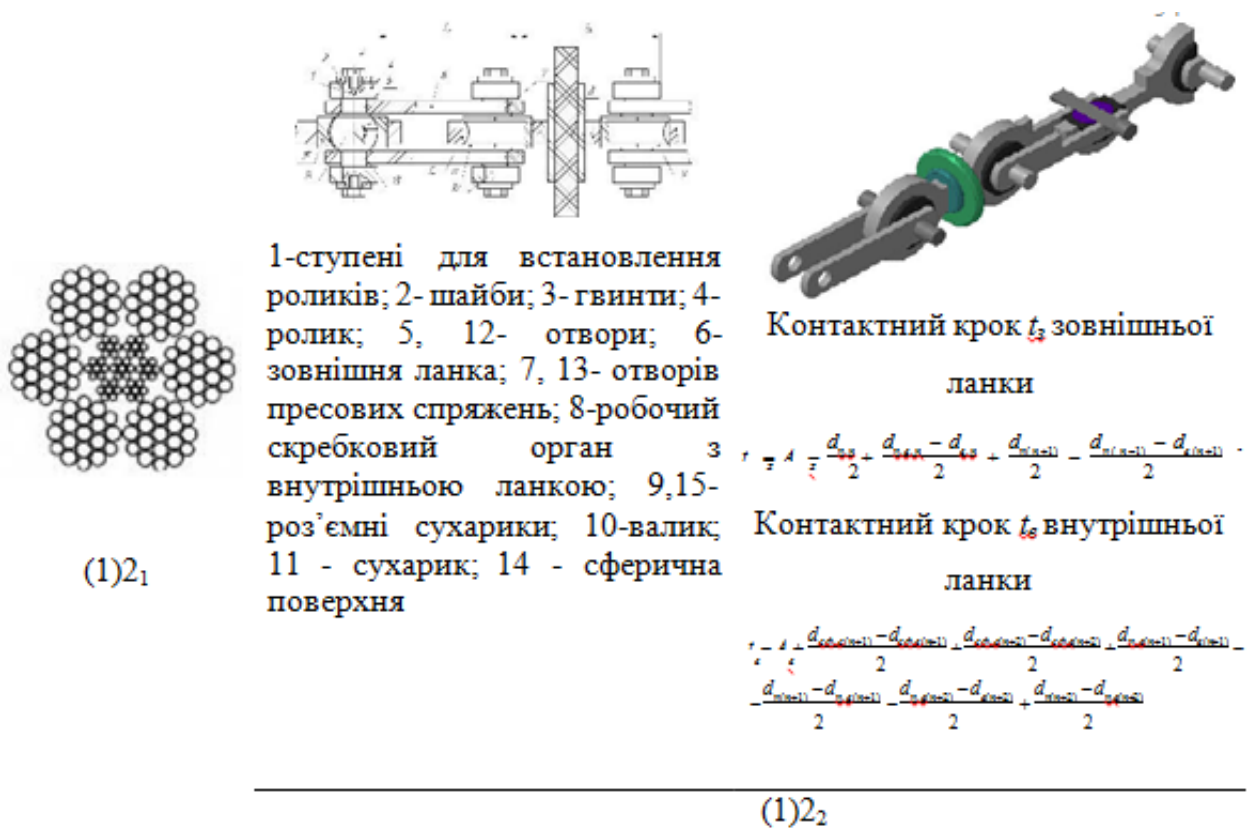
- другий ієрархічний рівень: (2)4₁ - (2)4₃; (рис. 2.5.) (2)5₁ - (2)5₃;

- третій ієрархічний рівень: (3)6₁ - (3)6₄. та (3)7₁ - (3)7₄

Відповідно до морфологічної таблиці 2.1 наведено приклад компоновки конструктивних елементів першого ієрархічного рівня на рис. 2.2.



Рис. 2.2 - Приклади компоновки механізмів транспортування матеріалу



(1)2₁ - сталевий канат подвійної завивки типу ЛК-Р; (1)2₂ - пластинчастий тяговий безвтулковий ланцюг підвищеної шарнірної рухомості

Рис.2.3 - Приклади компоновки конструкцій тягових елементів



Рис. 2.4. Приклади компоновки конструкцій подавальних дисків



Рис.2.5 - Приклади компоновки конструкції привідних елементів

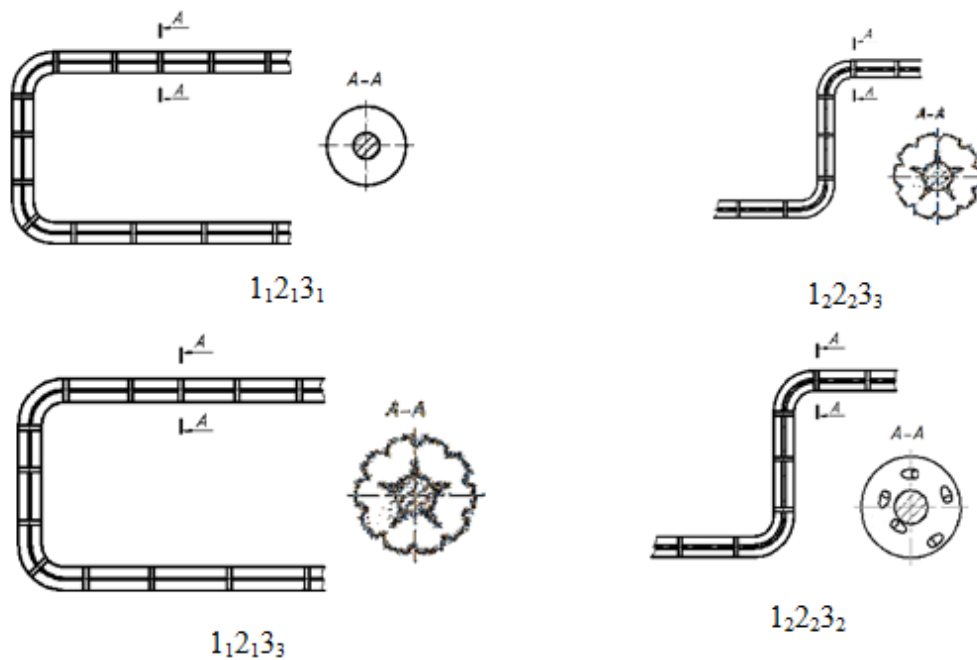
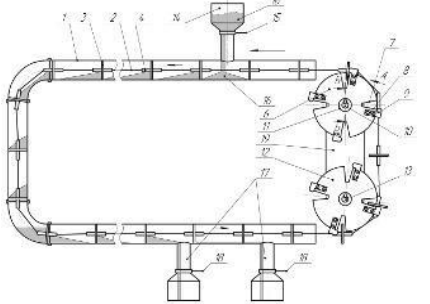

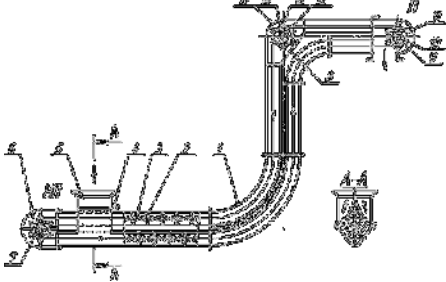

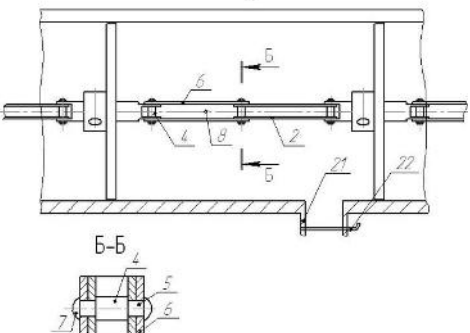



Рис.2.6 - Приклади компонок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня

Згідно із морфологічним аналізом через синтез ієрархічних груп та коефіцієнта, який дає визначення економічної доцільності використання того або іншого конструктивних елементів, здійснено вибір ефективних конструкцій по альтернативних варіантах транспортно-технологічної системи із канатними та ланцюговими робочими органами (таб. 2.3.).

Таблиця 2.3 - Синтезовані конструкції енергоощадних технологічних систем з канатними та ланцюговими робочими органами

Код конструкції	Схема кодів конструктивних елементів	Робочий орган
1	2	3
1 ₁ 2 ₁ 3 ₁ (4 ₁) ² 5 ₁ 7 ₁	 <p>Пат. №94206</p>	<p>2₁</p> 
1 ₂ 2 ₁ 3 ₂ (4 ₁) ³ 5 ₁ 7 ₁	 <p>Пат. №94205</p>	<p>2₁</p> 
1 ₁ 2 ₂ 3 ₃ (4 ₁) ² 5 ₂ 7 ₁		<p>2₂</p> 

$1_3 2_2 3_2 (4_1)^3 5_4 7_1$	<p>Пат. №65918</p>	
$1_2 2_1 3_3 (4_1)^2 5_1 7_1$	<p>Пат. №124844</p>	
$1_2 2_2 3_3 (4_1)^3 5_1 6_4$ 7_1	<p>Пат. №85011</p>	
$1_2 2_2 3_3 (4_1)^2 5_4 6_2$ 7_3	<p>Пат. №85233</p>	

2.3 Дослідження динаміки робочих органів трубчатих конвеєрів з лацюговими приводами

При транспортуванні сипких продуктів, таких як зерно, у складські приміщення, його фасування чи подальший вивіз широко застосовуються транспортні машини, серед яких найбільш ефективними є конвеєрні лінії. Їх популярність пояснюється відносною простотою виготовлення, можливістю

переміщення матеріалу на значну відстань, у тому числі й на велику висоту, а також меншим ступенем пошкодження зерна порівняно зі шнековими машинами.

У конвеєрних лініях як робочий приводний елемент використовують різні механізми: канати, спеціальні ланцюги, шнеки, а також спеціально змонтовані гумові секції [14]. Кожен із цих елементів має свої експлуатаційні особливості, що впливають на динамічну поведінку системи "привідний елемент – сипкий матеріал". Динамічні характеристики цієї системи визначають надійність і довговічність роботи конвеєра.

Зокрема, динаміка канатного робочого органу розглянута у працях [12, 14]. Однак пружні властивості канатів суттєво відрізняються від ланцюгів:

Для канатів основні пружні властивості з достатньою точністю описуються лінійними або квазілінійними співвідношеннями [7-9].

Для ланцюгів пружні властивості мають істотно нелінійний характер [55].

Це означає, що математична модель процесу транспортування сипкого матеріалу у трубчастих конвеєрах із ланцюговим робочим органом матиме якісно іншу форму порівняно з канатними конвеєрами, розглянутими в [22, 25].

Необхідність нових методів аналізу:

Для ланцюгових конвеєрів, що транспортують зерно, потрібно розробити нові методи аналізу, які враховують вплив широкого спектра зовнішніх і внутрішніх чинників на процес транспортування. Це дозволить забезпечити оптимальні режими роботи та підвищити ефективність транспортування.

$$\sigma = E\varepsilon^{\nu+1}, \quad (2.4)$$

Причому параметр не лінійності ν та модуль пружності E для різних типів ланцюгів змінюється відповідно в межах $1 < \nu < 2,8$

$$1,9 \times 10^{11} \frac{H}{m^2} \langle E \langle 7 \times 10^{11} \frac{H}{m^2} .$$

Аналіз графічних залежностей:

1. На рис. 2.7 показано залежності власної частоти системи "привідний ланцюг конвеєра – сипкий матеріал" від параметрів системи та амплітуди.

2. На рис. 2.8 відображено залежність амплітуд резонансних коливань цієї системи від швидкості переміщення сипкого матеріалу.

Ці графіки демонструють ключові характеристики динамічних процесів у системі та можуть бути основою для подальшого аналізу й оптимізації роботи ланцюгових конвеєрів.

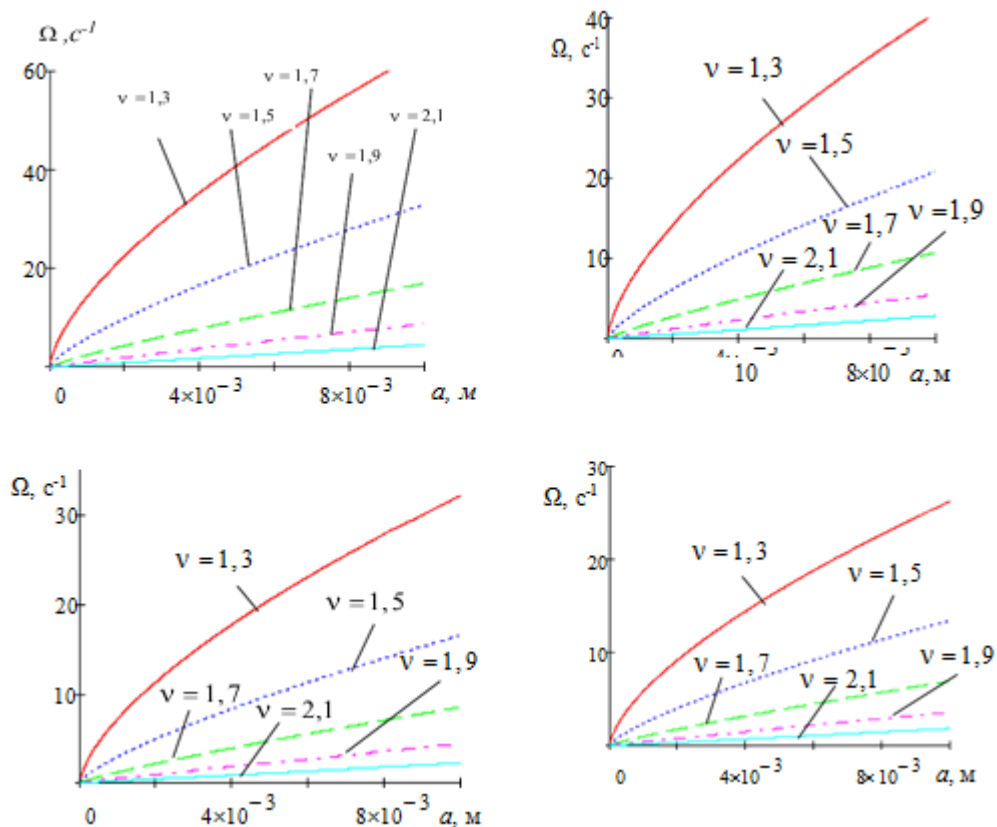


Рис. 2.7 - Залежність власної частоти коливань системи ланцюговий привід конвеєра – сипкий матеріал за різних значень параметрів та погонних мас 10; 25; 40; 60 кг/м ($E = 1,9 \cdot 10^{11} \text{ H / m}^2$; $d = 0,1 \text{ м}$)

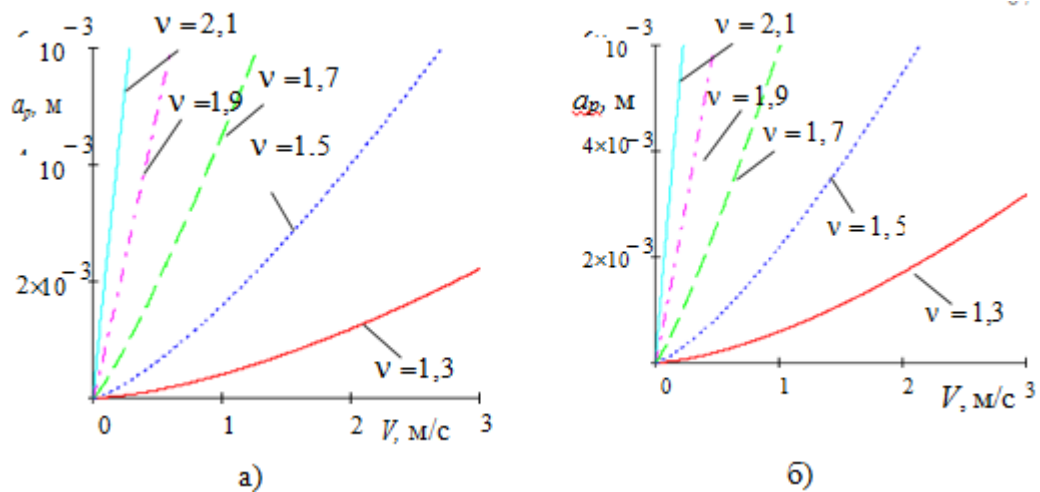


Рис. 2.8 - Залежність амплітуди резонансу системи ланцюговий привід конвеєра – сипкий матеріал від швидкості руху привідного ланцюга за таких параметрів та погонних мас 25; 40кг/м ($E = 1,9 \cdot 10^{11} \text{ Н / м}^2$; $d = 0,1 \text{ м}$)

2.4 Дослідження руху окремої матеріальної частинки по горизонтальному ситі

Для забезпечення безперервного та ефективного сепарування продуктів необхідно, щоб сипкий матеріал, з якого складаються ці продукти, здійснював на ситі рух, що сприятиме самосортуванню, просіюванню та транспортуванню.

- **Самосортування:** Дрібні частинки поступово переміщуються у нижній шар сипкого тіла, де їхній рух сприяє просіюванню.
- **Просіювання:** Частинки, досягнувши поверхні сита, проходять крізь отвори.
- **Транспортування (подача):** Сипкий матеріал переміщується вздовж ситового каналу від приймальної частини до вихідної, що забезпечує безперервність процесу.

Граничний рух матеріальних частинок

Відомий учений Н. Е. Жуковський довів, що за умов достатньо великої кутової швидкості кругового поступального руху сита та відповідного радіуса R (радіус траєкторії будь-якої точки сита), відносний рух частинки

матеріалу також відбувається з тією ж кутовою швидкістю, але по колу радіуса $R_o < R < R_o < R$. Цей рух визначається як **граничний** (рис. 2.9).

$$F = mgf, \quad (2.5)$$

де f - коефіцієнт тертя.

Крім того, на матеріальну частинку діє сила інерції

$$F_i = m \cdot \omega^2 \cdot R. \quad (2.6)$$

Стан відносного спокою можливий, якщо

$$F_i \leq F \quad (2.7)$$

або

$$\omega^2 \cdot R \leq g \cdot f. \quad (2.8)$$

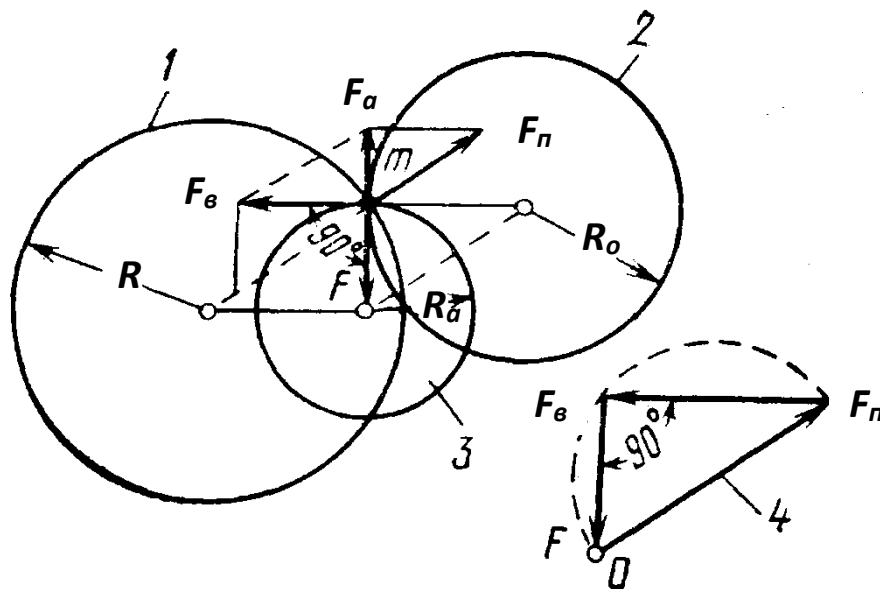


Рис. 2.9 - Рух частинки продукту:

1-траєкторія переносного руху; 2-траєкторія відносного руху; 3-траєкторія абсолютного руху; 4-векторна діаграма сил.

Якщо прискорення точки сита

$$\omega^2 \cdot R > g \cdot f, \quad (2.9)$$

то повинен відбуватись відносний рух частинки по сити.

Відносний рух частинки по сити відбувається лише за умови, коли

$$\omega > \omega_{кр}, \quad (2.10)$$

що визначається з умови

$$m \cdot \omega^2 \cdot R = m \cdot g \cdot f. \quad (2.11)$$

Звідси

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g \cdot f}{R}}. \quad (2.12)$$

У випадку встановленого (усталеного) руху реакція сита F зрівноважується силою F_a , тобто

$$F + F_a = 0. \quad (2.13)$$

При абсолютному русі частинки силу інерції можна записати як

$$F_a = F_n + F_\epsilon, \quad (3.14)$$

де F_n – переносна сила інерції (під переносним розуміють рух точки сита);

F_ϵ – відносна сила інерції (під відносним розуміють рух частинки).

$$F + F_n + F_\epsilon = 0. \quad (2.15)$$

Відомі значення і напрям сили F_n , значення сили F і її напрям по одній прямій зі швидкістю відносного руху. При постійній швидкості, як у даному випадку, повне прискорення у відносному русі є одночасно і нормальним прискоренням. Отже, сили F_ϵ і F взаємно перпендикулярні. Цих даних достатньо, щоб графічно розв'язати векторні рівняння у вигляді трикутника сил і визначити значення сили F_ϵ :

$$F_{\epsilon} = \sqrt{F_n^2 - F^2}. \quad (2.16)$$

Вектор сили F_{ϵ} рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω , а кут 90° між силами F_{ϵ} і F постійний і обертається в цьому ж напрямку і з цією ж кутовою швидкістю. Це можливо лише за умови, якщо траєкторії абсолютного і відносного рухів є колами і рух по них відбувається з сталими швидкостями. Тому

$$F_{\epsilon} = m\omega^2 R_0; \quad (2.17)$$

а оскільки

$$F_n = m\omega^2 R \quad (2.18)$$

і

$$F = mgf, \quad (2.19)$$

то

$$R_0 = R\sqrt{1 - \left(\frac{gf}{\omega^2 R}\right)^2}. \quad (2.20)$$

З рівняння

$$F_a = m\omega^2 R_a \quad (2.21)$$

і

$$F_a = F \quad (2.22)$$

$$R_a = \frac{gf}{\omega^2}. \quad (2.23)$$

З отриманого рівняння видно, що радіус траєкторії відносного руху частки по сити завжди менший від радіуса R траєкторії точок сита, яке здійснює круговий поступальний рух.

Кут φ між векторами переносної та абсолютної сил інерції визначають з рівняння

$$\cos \varphi = \frac{R_a}{R} = \frac{gf}{\omega^2 R}. \quad (2.24)$$

Але рух окремої частки недостатньо характеризує рух всього сипкого тіла. Частково розглянута задача не дозволяє пояснити явище самосортування і вибрати шляхи інтенсифікації процесу сепарування в цілому.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма проведення досліджень

Відповідно до мети дослідження, поставлених задач і проведеного теоретичного аналізу, програма та методика експериментальних досліджень передбачали такі етапи:

- Згідно аналізу роботи та теоретичного обґрунтування параметрів процесу функціонування робочих органів здійснити розробку конструктивно-технологічної схеми трубчастого скребкового ланцюгового конвеєра, визначивши його технічні та експлуатаційні характеристики;

- Провести дослідження із використанням обладнання для дослідження процесу транспортування шляхом варіювання параметрів цього процесу, визначивши їх технічні характеристики залежно від конструктивних параметрів і властивостей сипкого матеріалу;

- Здійснити розробку методик та провести дослідження, включаючи побудову рівнянь регресії для визначення продуктивності трубчастого скребкового ланцюгового конвеєра.

- Оцінити вплив діаметра труби, коефіцієнта завантаження, лінійної швидкості транспортування сипкого матеріалу на продуктивність і крутний момент під час транспортування;

Проведення експериментальних досліджень здійснюється із залученням спеціального стендового обладнання, що дозволяє регулювати конструктивно-кінематичні параметри. Це дало змогу підтвердити теоретичні розробки та отримати необхідні експериментальні залежності для обґрунтування параметрів трубчастого ланцюгового конвеєра і визначення раціональних режимів його роботи.

3.2 Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень

Проведення досліджень по визначенню продуктивності використано

ланцюгові транспортери із вертикальним завантаженням сипучих матеріалів 1 (рис. 3.1.), що виконаний S-подібної форми труби 2 із круглим поперечним перерізом та встановлено вертикально. У нього встановлюється ланцюгового типу дисковий робочий орган 3, по якому рівномірно згідно довжини та заданого кроку встановлені круглої 4 та бочкоподібної 5 форми диски, які з'єднуються за допомогою ланцюга 6. Також там розміщено спеціальну допоміжну привідну зірочку 7, що жорстко закріплена на привідних валах 8 коливальних систем.

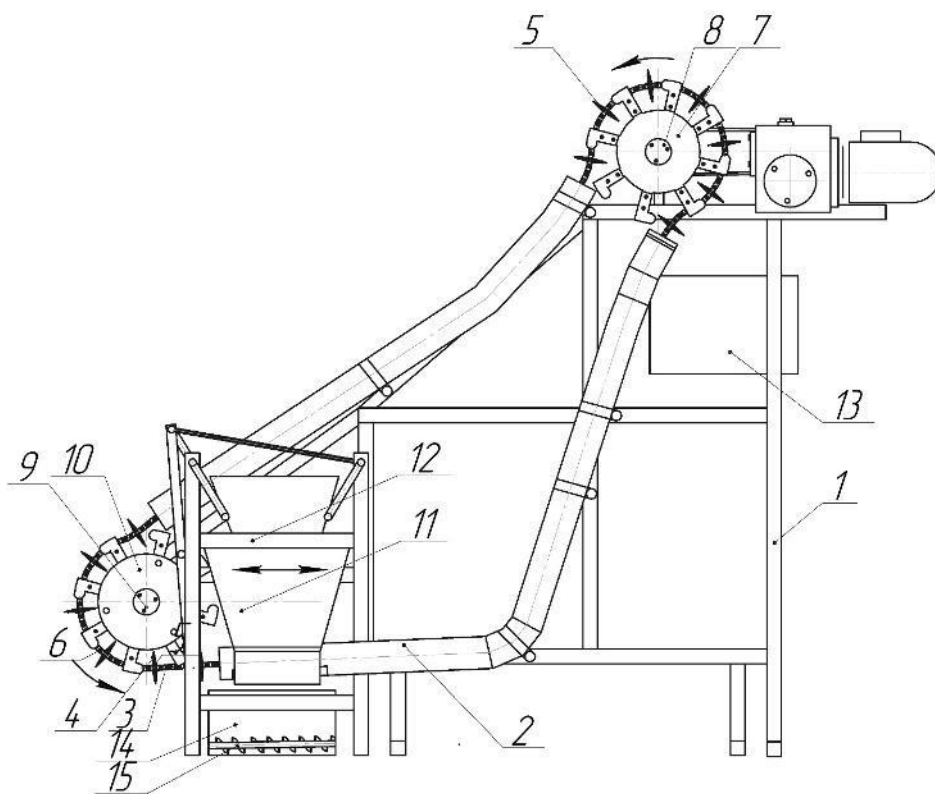


Рис. 3.1 - Трубчастий ланцюговий транспортер

Також у даному типі транспортера міститься привідний валок 9 що розміщений паралельно валку 8 та привідна натяжна станція 10. Завантажувальний бункер 11, та систему сит 12 і вивантажувальну ємність 13.

Перевагами даного типу є розширені технологічні можливості та підвищені показники продуктивності праці.

Кабель зв'язку VW3-A8106, через COM- порт під єднали до

комп'ютера та перетворювач частоти режим Connected, здійснили імітацію управління згідно режиму Simulated та здійснили керування (рис. 3.3)



Рис. 3.2 - Привідний обертовий диск процесу сепарації та транспортування сипких матеріалів

Використовувалася програма Power Suite версії 2.5.0 у автоматизованому режимі, яка дозволяла здійснювати керування роботи двигуна, та змінювати частоту обертання (0 - 1460 об/хв.), та здійснити проведення досліджень статичних та динамічних процесів.

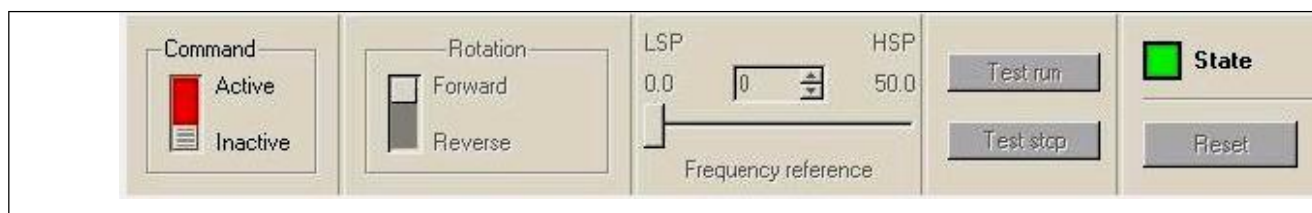


Рис. 3.2 - Панель керування двигуном



Рис. 3.3 - Загальний вигляд експериментальної установки:

1 – привід конвеєра; 2 – засипний бункер; 3 – робочий орган трубчастого скребкового ланцюгового конвеєра; 4 – привідна зірочка; 5 – скребок; 6 – транспортна магістраль; 7 – перетворювач частоти; 8 – персональний комп’ютер

Дослідження здійснювались із використанням експериментальної установки (рис. 3.4), що дало змогу здійснити підтвердження результатів теоретичного аналізу. Стенд був обладнаний трьохфазним асинхронним електродвигуном, що керувався за допомогою перетворювача частоти (ALTINAR-71) (ПЧ) та програмним забезпеченням Power Suite версії 2.5.0 (рис. 3.6) [15].

Рисунок 3.4 відображає зміни силових характеристик приводу скребкового ланцюгового конвеєра у часі при здійсненні транспортуванні пшениці фракції 3,5 мм.

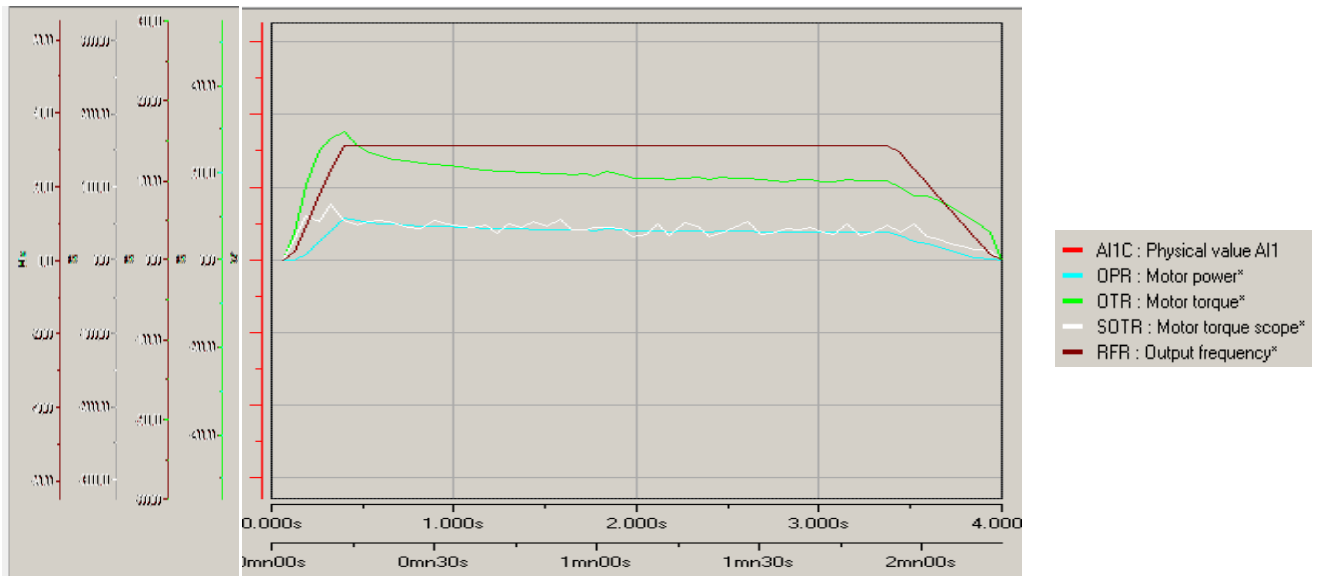


Рис.3.4 - Графік зміни силових параметрів приводу скребкового ланцюгового конвеєра при транспортуванні пшениці фракції 3,5 мм.

Вимірювання швидкісних процесів, а також та пуско-гальмівних режимів здійснюється у межах часу із кроком 0,001 –1 с, максимальна кількість вимірювань - 4000.

Вікно програми відображає результати графічними залежностями. Для одержання результатів були побудовані графічні залежності ефективності сепарації E , від зміни трьох основних факторів: кута нахилу сита, α , град, ексцентриситету привідного обертового диска, ε , мм, швидкості сита v , м/с, тобто $E = f(\alpha, \varepsilon, v)$. Змінюючи три основні фактори: коефіцієнт заповнення ψ , внутрішній діаметр труби D , м, лінійну швидкість транспортування v м/с, тобто $Q = f(D, \psi, v)$ і $T = f(D, \psi, v)$ для визначення залежності щодо продуктивності Q , крутного моменту T , потужності двигуна N . Графічні залежності представлені піковими максимальними значеннями отриманих результатами дослідження.

Використовуючи виконання дії добутку номінальної потужності двигуна (2,2 кВт) на максимальне відсоткове значення для вибраного режиму визначено потужність двигуна. Ці самі дії доцільно використати для знаходження крутного моменту. Для цього використано відому формулу визначення номінального крутного моменту

$$M_n = \frac{9554 \times P_n}{n} (HМ) \quad (3.1)$$

$$M_n = 14,39 HМ$$

При використанні перетворювача частоти відбувалось короткочасне перевищення номінального струму до 170%, відповідно збільшувалась номінальна потужність і крутний момент, що спричиняло перевантаження двигуна у 210% згідно обертового запасу - 170% перетворювачем частоти.

При використанні математичної моделі крутний момент з'являлась похибка до 2%.

3.3 Методика по проведенню дослідження транспортування сільськогосподарської продукції у трубчастому скребковому ланцюговому конвеєрі

Експериментальні дослідження, як впливають конструктивні параметри (незалежні фактори x_i) на показники продуктивності, дослідження величин ефективності сепарації, максимальні показники крутного моменту, а саме:

- визначення залежності ефективності сепарації в сепаруючому бункері для продуктивності від зміни трьох таких основних факторів: кут нахилу сита, ексцентриситет привідного обертового диска, швидкість сита.

- для встановлення графічних залежностей продуктивності від зміни трьох факторів: коефіцієнта заповнення, внутрішнього діаметра труби та швидкості транспортування, тобто $Q = f(D, \psi, v)$.

- для встановлення графічних залежностей крутного моменту від зміни трьох факторів: коефіцієнта заповнення, внутрішнього діаметра труби та швидкості транспортування, тобто $T = f(D, \psi, v)$.

- для встановлення графічних залежностей травмування сипкого матеріалу від зміни трьох факторів: діаметра труби, коефіцієнта завантаження конвеєра та швидкості руху ланцюга, тобто $\Pi = f(D, \psi, v)$.

При виконанні розрахункової частини враховано зв'язки кодованих x_i

та натуральних X_i змінних факторів:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \quad (3.2)$$

Здійснено проведення повнофакторного експерименту, зокрема нульові рівні, або середні значення мали вхідні фактори:

$$X_0 = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (3.3)$$

Визначення інтервалів варіювання факторами

$$\Delta X_i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2} \quad (3.4)$$

Здійснили визначення величин кодування факторів, а також рівнів їхнього варіювання, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Умовна план-матриця експерименту

№п/п дослідж.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середнє значення, У
	x_{10}	x_{20}	x_{30}	x_{40}	$x_1 \cdot x_{20}$	$x_1 \cdot x_{30}$	$x_1 \cdot x_{40}$	$x_2 \cdot x_{30}$	1	2	3	$U_{\text{середнє}}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	U_{51}	U_{52}	U_{53}	U_{54}
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	U_{61}	U_{62}	U_{63}	U_{64}
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	U_{71}	U_{72}	U_{73}	U_{74}
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	U_{81}	U_{82}	U_{83}	U_{84}
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	U_{91}	U_{92}	U_{93}	U_{94}
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	U_{101}	U_{102}	U_{103}	U_{104}
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	U_{111}	U_{112}	U_{113}	U_{114}
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	U_{121}	U_{122}	U_{123}	U_{124}
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	U_{131}	U_{132}	U_{133}	U_{134}
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	U_{141}	U_{142}	U_{143}	U_{144}
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	U_{151}	U_{152}	U_{153}	U_{154}
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	U_{161}	U_{162}	U_{163}	U_{164}
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	U_{171}	U_{172}	U_{173}	U_{174}
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	U_{181}	U_{182}	U_{183}	U_{184}
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	U_{191}	U_{192}	U_{193}	U_{194}
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	U_{201}	U_{202}	U_{203}	U_{204}
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	U_{211}	U_{212}	U_{213}	U_{214}
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	U_{221}	U_{222}	U_{223}	U_{224}
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	U_{231}	U_{232}	U_{233}	U_{234}
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	U_{241}	U_{242}	U_{243}	U_{244}
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	U_{251}	U_{252}	U_{253}	U_{254}
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	U_{261}	U_{262}	U_{263}	U_{264}
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	U_{271}	U_{272}	U_{273}	U_{274}

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Результати експериментів для трубчастих ланцюгових конвеєрів

Згідно із програмою експериментальні дослідження здійснювались із використанням дослідної установки:

Для оцінки продуктивності скребкового ланцюгового конвеєра залежно від змін конструктивних параметрів вимірювали масу сипучого матеріалу за визначений час за допомогою електронних ваг (ГОСТ 24104-80, точність ± 10 мг). Як тестовий матеріал використовували пшеницю та горох.

Для аналізу якості процесу сепарації в сепаруючому бункері проводили вимірювання за різних конструктивних параметрів. Використовували набори штампованих сит з отворами діаметром 5, 7 і 9 мм та лабораторні ваги (ГОСТ 24104-80, точність ± 10 мг). Коефіцієнт завантаження регулювали зміною швидкості подачі матеріалу, а вимірювання параметрів проводили спеціальними інструментами [15].

Обробка отриманих експериментальних даних виконувалася за допомогою статистичних методик кореляційного та регресійного аналізу, що дозволило отримати кінцеві результати у вигляді емпіричних рівнянь регресії [11, 17].

Під час експериментів змінні фактори мали різні одиниці вимірювання, тому їх значення переводили у кодовану форму для уніфікації. Кодовані фактори вводили в матрицю повного факторного експерименту (ПФЕ-33) (табл. 4.1). Результати експериментів зводили у таблиці, а обробка проводилася відповідно до загальноприйнятих методик [3].

Завантажувально-транспортуючий модуль складався з основних елементів: сепаруючого бункера з робочим органом і трубчастого скребкового конвеєра. Розроблена методика експериментів і виготовлення установки дозволила оцінити вплив конструктивних і технологічних параметрів конвеєра на його якісні характеристики.

Основним завданням досліджень було визначення впливу кінематичних параметрів (при різному навантаженні) на ефективність процесу. Параметри "засміченості" ($C=20\%$) і вологості ($W=10-18\%$) матеріалу залишалися постійними. Кут нахилу решета становив $10-20^\circ$, а вологість вимірювали вологоміром Grain Moisture Meter MD7822 для сипких матеріалів (рис. 4.1).



Рис. 4.1 - Процес виміру вологості вологоміром марки Grain Moisture Meter MD7822 для сипких матеріалів: а)- пшениця; б)- горох.

Дослідження впливу крупних домішок у матеріалі проводилося при наступних параметрах транспортер-сепаратора: кут нахилу – $10-20^\circ$, швидкість руху конвеєра – $0,34-0,86$ м/с.

Виявлено поступове зниження швидкості часток під впливом сил тертя. Частинки, що рухаються слідом, заповнюють утворені пустоти, створюючи тиск верхніх частинок на нижні, які проходять крізь сито за відповідності їхніх розмірів. Одношаровий рух матеріалу через відсутність верхніх шарів і зростання швидкості спричиняє підстрибування часток, що дозволяє їм проходити крізь поверхню сепарації на більшій відстані. Це сприяє збільшенню ефективної довжини сита. Встановлено, що збільшення кута нахилу сита сприяє розширенню зони просіювання зернин.

Таблиця 4.1 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур	код.				
кут нахилу сита, φ , град	X_1	x_1	5	10/-1	15/0	20/+1
ексцентриситет привідного оберտального диска, ε , м,	X_2	x_2	0,05	0,07/-1	0,12/0	0,17/+1
швидкість сита v , м/с	X_3	x_3	0,26	0,34/-1	0,6/0	0,86/+1

Дійсні значення відносно кодованих зведено єдиною системою обрахунків, табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур	код.				
Внутрішній діаметр труби D , м	X_1	x_1	0,02	0,08/-1	0,1/0	0,12/+1
Коефіцієнт заповнення K	X_2	x_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1
Лінійна швидкість транспортування v , м/с	X_3	x_3	0,26	0,34/-1	0,6/0	0,86/+1

Проведений повнофакторний експеримент ПФЕ - 3^3 визначив значення крутного моменту (параметр оптимізації T), а саме залежність крутного моменту від зміни трьох незалежних факторів: коефіцієнта заповнення внутрішнього діаметра труби D , м та кроку скребоків робочого органа t м, тобто $T=f(D, K, t)$, що представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур	код.				
Внутрішній діаметр труби D , м	X_1	x_1	0,02	0,08/-1	0,1/0	0,12/+1
Коефіцієнт заповнення K	X_2	x_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1
Крок скребоків, t , м	X_3	x_3	0,05	0,1/-1	0,15/0	0,2/+1

Незалежні кодовані фактори та рівні їх варіювання заведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень травмування насінневого матеріалу при транспортуванні на трубчастому скребковому конвеєрі

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур	код.				
Внутрішній діаметр труби D , м	X_1	x_1	0,02	0,08/-1	0,1/0	0,12/+1
Коефіцієнт заповнення K	X_2	x_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1
Лінійна швидкість транспортування v , м/с	X_3	x_3	0,11	0,34/-1	0,6/0	0,86/+1

4.2 Графоаналітичні результати здійснення сепарації сільськогосподарської продукції трубчастим скребковим конвеєром

Проведені дослідження включали окремі повнофакторні експерименти, які відображались серією дослідів, що мають суттєвий вплив на процеси сепарації, здійснено підбір характеристик кінематичних режимів.

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

$$E = 85,87 + 64,25\varepsilon + 18,85v + 0,0067\varphi^2 - 244,54\varepsilon^2 - 16,42v^2 . \quad (4.1)$$

На основі аналітичної залежності визначено ефективність просівання сипкого матеріалу (пшениця) і представлено на рис. 4.2-4.4.

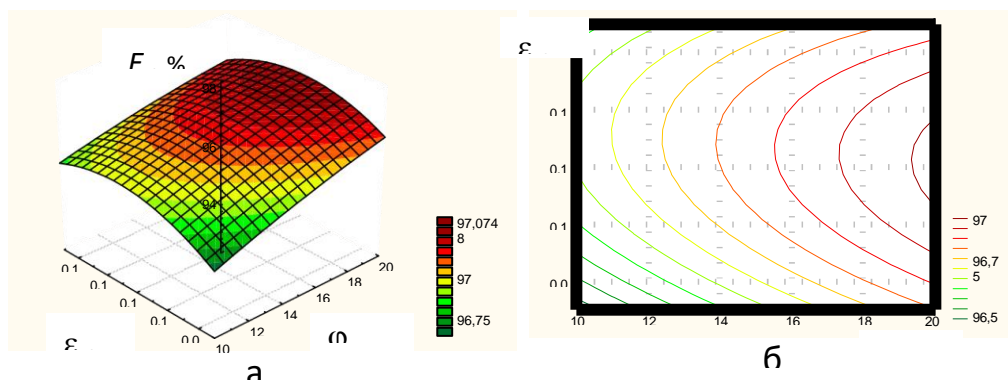


Рис. 4.2. Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності ефективності просівання $E_{тиен(\phi,\epsilon)}$ від кута нахилу сита та ексцентриситету привідного обертального диска при швидкості $v = 0,6$ м/с.

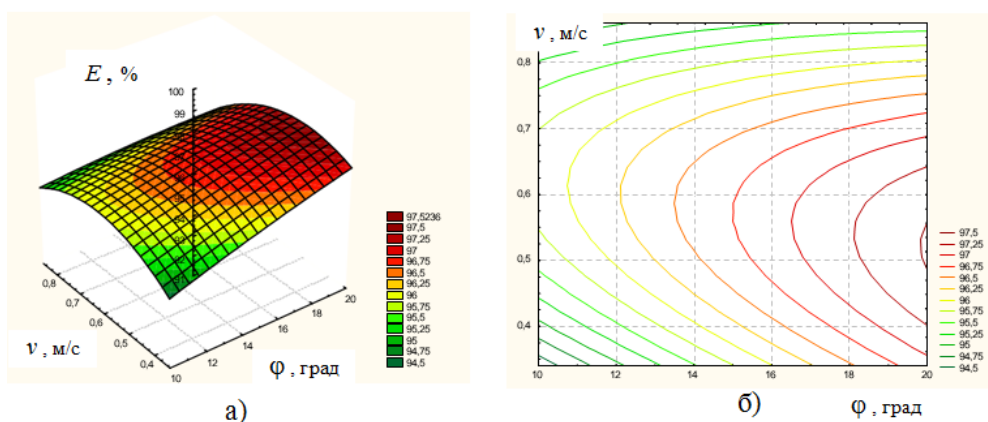


Рис. 4.3 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності ефективності просівання $E_{тиен(\phi,v)}$ від кута нахилу сита та швидкості робочого органа при ексцентриситеті привідного обертального диска $\epsilon = 0,12$ м

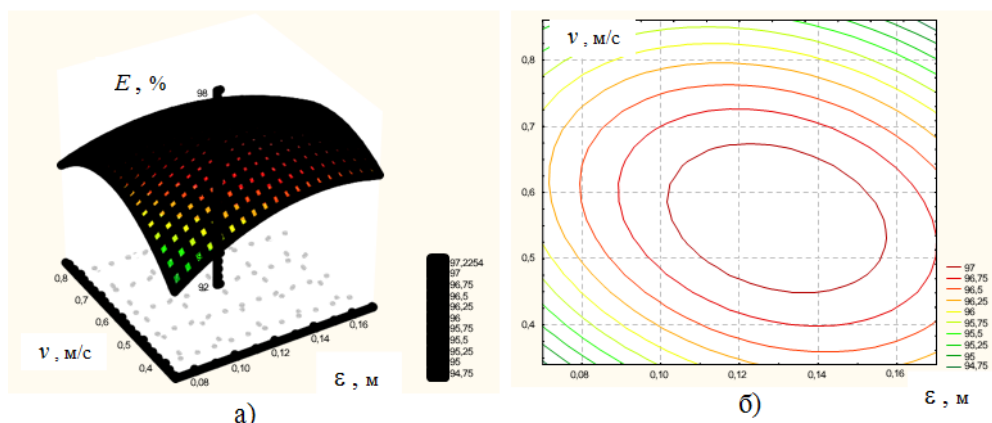


Рис. 4.4 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності ефективності просівання $E_{тиен(\phi,v)}$ від ексцентриситету привідного обертального диска та швидкості робочого органа при куті нахилу сита $\phi = 15$ град.

Для ефективного просівання обрані раціональні значення параметрів лежать в межах: швидкість подачі – 0,34...0,86 м/с; кут нахилу сита – 10...20° та раціональних їх значень $v = 0,6$ м/с; $q_{num} = 0,9-4,7$ кг/год \times см², $\varphi = 10-20^\circ$, становить 0,42–1,7 кВт.

4.3 Результати досліджень для транспортування сільськогосподарської продукції системою трубчастого скребкового конвеєра

На рис. 4.5-4.7. представлено графічні залежності продуктивності конвеєра і крутного моменту при транспортуванні сипкого матеріалу (пшениці, гороху). За допомогою програмного забезпечення “Statistica-6.0” for Windows, було побудовано графічні залежності регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів.

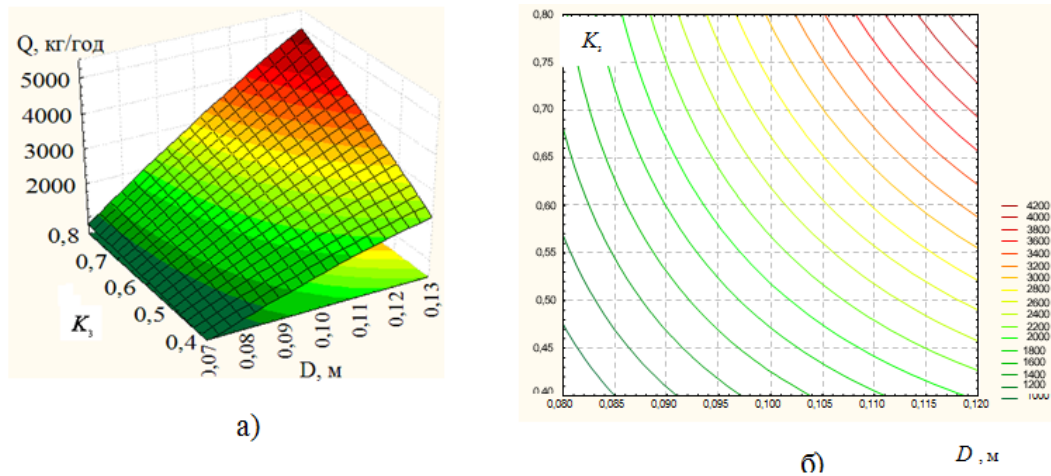


Рис. 4.5 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності транспортування гороху $Q_{zop(D,K_3)}$ від діаметра труби та коефіцієнта заповнення при швидкості $v = 0,6$ м/с

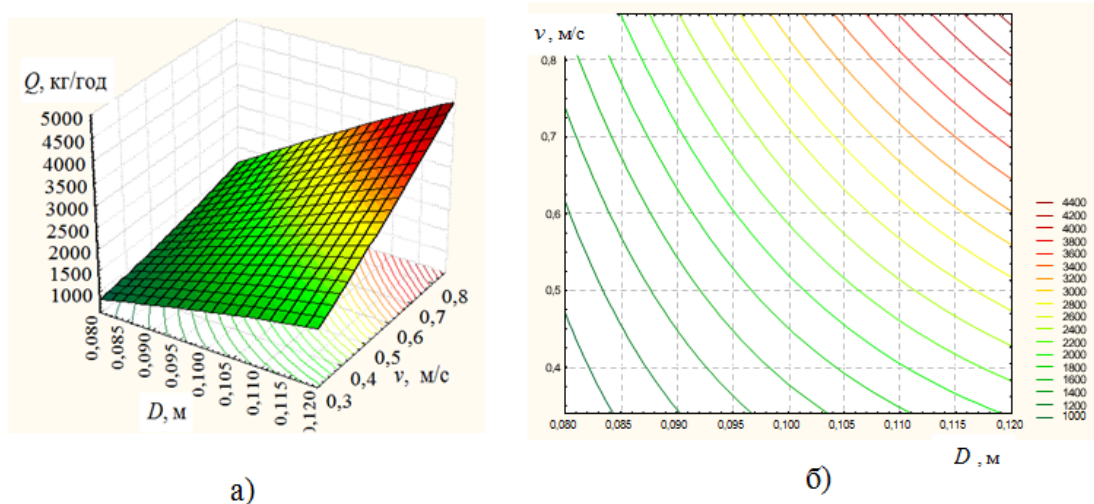


Рис. 4.6 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності транспортування гороху $Q_{гор(D,v)}$ від лінійної швидкості та коефіцієнта заповнення при коефіцієнта заповнення $K = 0,6$

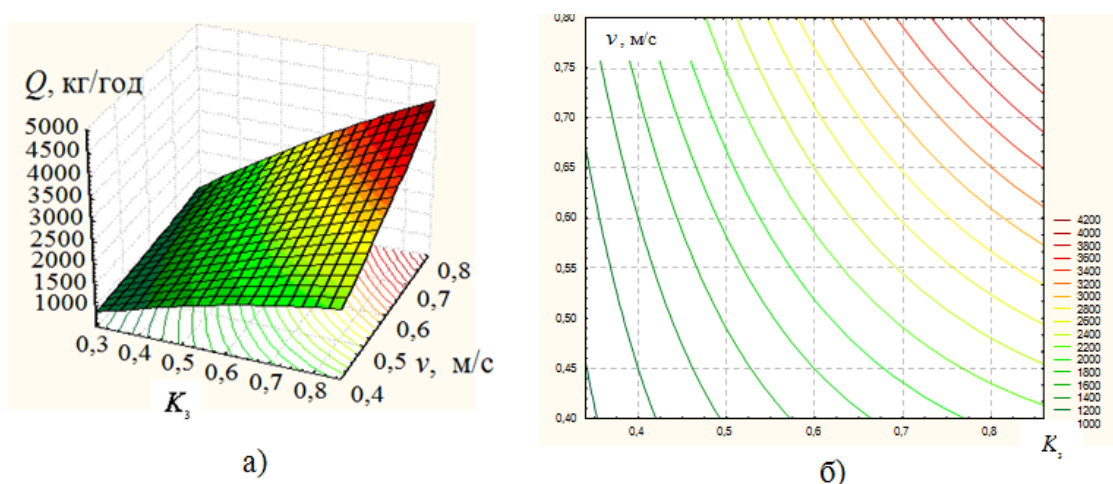


Рис. 4.7 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності транспортування гороху $Q_{гор(K_3,v)}$ від лінійної швидкості та діаметра труби при діаметрі труби $D = 0,1\text{м}$

Крутний момент трубчастого скребкового конвеєра прямопропорційно залежить від внутрішнього діаметра $D = 0,08\dots 0,12\text{м}$, коефіцієнту заповнення $K_3 = 0,4\dots 0,8$ при різних кроках скребоків робочого органа які наведено на рис. 4.8 - 4.10.

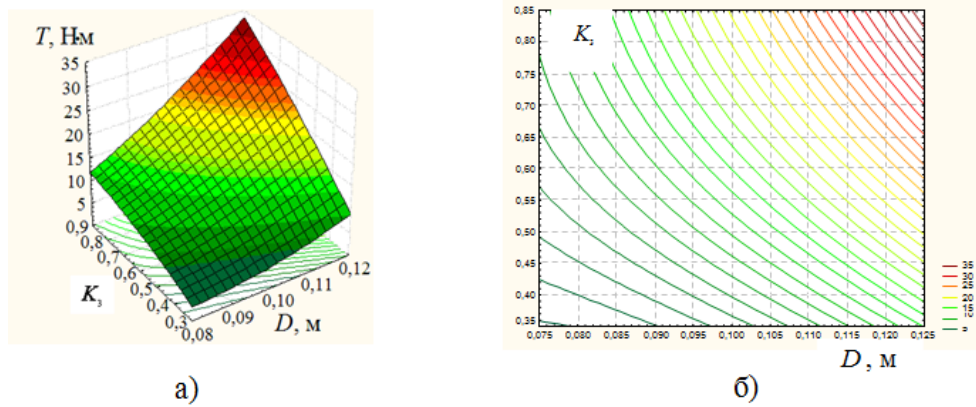


Рис. 4.8 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності крутного моменту $T_{\text{плен}(D,K)}$ від коефіцієнта заповнення та діаметра труби при кроку скребка робочого органа $t_1 = 0,15\text{ м}$

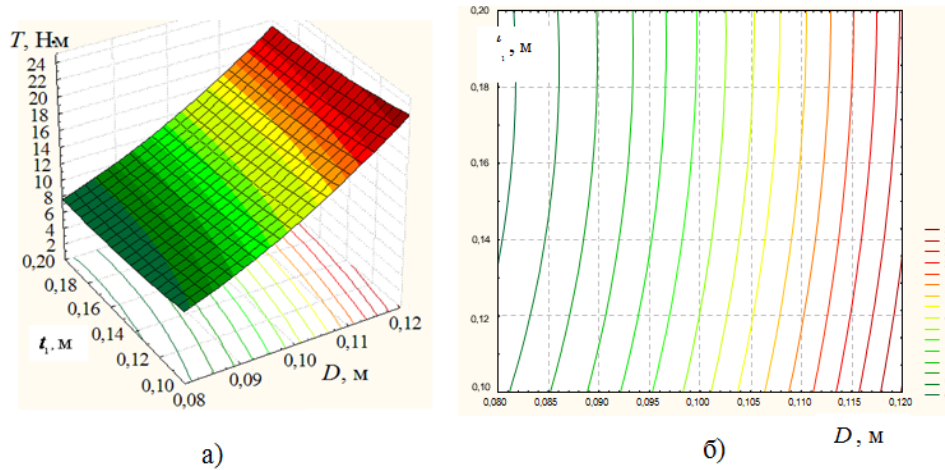


Рис. 4.9 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності крутного моменту $T_{\text{плен}(t_1,D)}$ від кроку скребка робочого органа та діаметра труби при коефіцієнті заповнення $K = 0,6$.

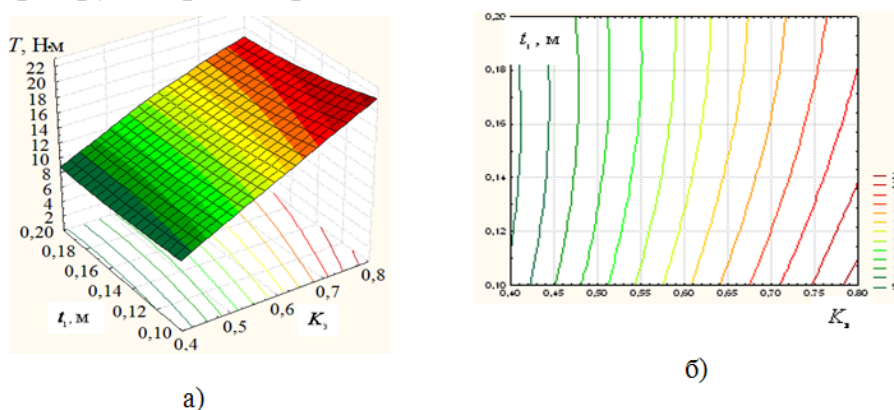


Рис. 4.10 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності крутного моменту $T_{\text{плен}(t_1,K)}$ від кроку скребка робочого органа та коефіцієнті заповнення при діаметрі труби $D = 0,1\text{ м}$

Внаслідок проведення експериментальних досліджень спостерігалось збільшення енерговитрат при транспортуванні пшениці, оскільки пшениця має еліпсоподібну форму, а сипкий матеріал (горох) через значні розміри в меншій мірі попадають між поверхнею скребка та труби.

4.4 Результати досліджень скребкових робочих органів конвеєрів для транспортування сільськогосподарської продукції

Скориставшись наведеною методикою, побудовані графічні залежності необхідної потужності для транспортування зерна пшениці від внутрішнього діаметра труби (рис. 4.11), від кута нахилу конвеєра (рис. 4.12) та радіуса згину поверхні конвеєра (рис. 4.13).

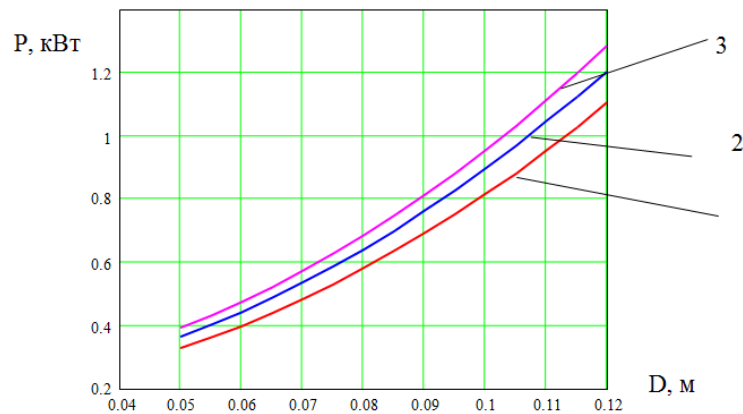


Рис. 4.11 - Залежність потужності трубчастого ланцюгового конвеєра від внутрішнього діаметра труби при транспортуванні зерна пшениці: 1. $\alpha_1=15^\circ$, $\alpha_2=75^\circ$; 2. $\alpha_1=25^\circ$, $\alpha_2=85^\circ$; 3. $\alpha_1=35^\circ$, $\alpha_2=90^\circ$

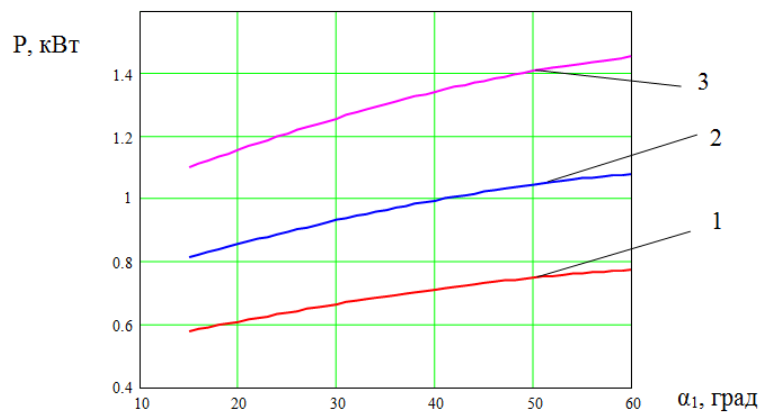


Рис. 4.12 - Залежність потужності трубчастого ланцюгового конвеєра від кута нахилу конвеєра при транспортуванні зерна пшениці $\alpha_2=75^\circ$:

1. $D=0,08$ м 2. $D=0,1$ м; 3. $D=0,12$ м

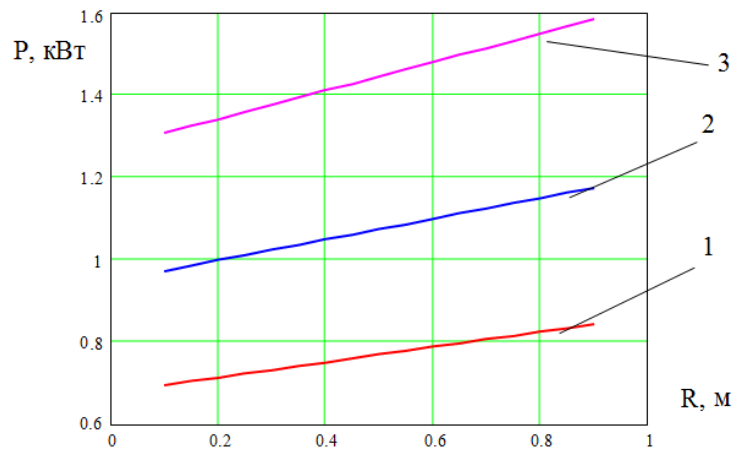


Рис. 4.13 - Залежність потужності трубчастого ланцюгового конвеєра від радіуса згину поверхні конвеєра при транспортуванні зерна пшениці $\alpha_1=45^\circ$, $\alpha_2=75^\circ$: 1. $D=0,08$ м; 2. $D=0,1$ м; 3. $D=0,12$ м

На основі аналізу графіків робимо висновок, що збільшення діаметра труби, кута нахилу конвеєра та радіуса згину поверхні конвеєра призводить до зростання необхідної потужності конвеєра, при цьому також забезпечується зростання його продуктивності. В залежності від умов роботи, вибираємо тип приводу та потужність.

Отримано: $L = 20\text{м}; V = 0,86\text{м/с}; m = 15\text{кг/м}; m_1 = 60\text{кг}; a_n = 2\text{м}$,
електродвигун 4A132M2Y3, потужність якого $P = 2,2\text{кВт}; r_n = 0,25\text{м}$

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

5.1 Аналіз виробничих небезпек під час виробництва

Небезпечні виробничі фактори поділяють на явні, якщо їх дія на людину очевидна і для її запобігання необхідні певні заходи і які потенційно можуть діяти на людину при певних її діях, виникненні аварій та в інших небезпечних умовах.

Так, спеціалісти в галузі безпеки праці стверджують, що виробнича небезпека – це загроза дії на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а виробнича шкідливість – дія на працюючого лише шкідливих виробничих факторів.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізнити поняття “нещасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нещасний випадок” пояснює достовірність факту виникнення травми, а тому його окремою подією вважати не можна.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактора. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну.

Вичерпні знання обставин, внаслідок яких виник нещасний випадок або може статися аварія, травм а чи більш важкі наслідки, необхідні для глибокого розуміння процесу зародження, нормування та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують травмам, аваріям, катастрофам.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії та катастрофи, мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.5.1).

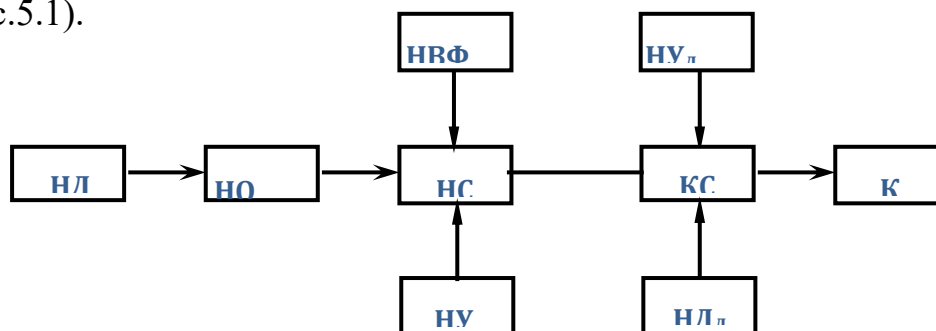


Рис. 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій: НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини;

НС-небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична ситуація; НУд-небезпечні умови додатково; НДд-небезпечні дії додатково; К-катастрофа.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає. Що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія(А), травми (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

5.2. Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій

Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, що відображає три групи факторів трудової, санітарно-гігієнічної і технічної безпеки.

Карта умов праці на робочому місці - це основа санітарно-технічного паспорту виробничої дільниці (бригади, майстерні, ферми тощо). До санітарно-технічного паспорта дільниці входить збірна інформація з карт умов праці на робочих місцях.

Складемо картку умов праці в подрібнювальному цеху, яку зобразимо в таблиці 5.1. Послідовність заповнення картки умов праці:

- ГОСТ 12.1.005-88 визначається категорія робіт і оптимальні показники мікроклімату;
- за гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустима концентрація фактора (ГДК, ГДР), які заносяться в графу 2 таблиці 5.1; для кожного фактора умов праці проводиться за загально прийнятою методикою інструментальний замір фактичного значення фактора. Деякі фактичні дані можна взяти з матеріалів попередньо проведеної паспортизації у інженера з охорони праці;
- визначається коефіцієнт нормо-забезпеченості:

$$K_n = 1 \pm \frac{A_B + A_H}{A_H}, \quad (5.1)$$

де A_B – виміряне значення фактора умов праці; A_H – нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за гранично допустимим значенням нормативного параметра A_H ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_H . Результати заносимо в гр. 5 таблиці 5.1.

Гранично допустиме значення коефіцієнта нормо забезпечення має дорівнювати одиниці. Якщо воно менше одиниці, то це означає, що діючий фактор умови праці вищий за гранично допустимий рівень і слід вжити заходів для зниження дії цього фактора, тим самим поліпшити умови праці.

Відповідно до технології виконання виробничого процесу встановлюється тривалість дії кожного фактора і результати заносяться у гр. 7 і 8 табл. 5.1.

Визначається коефіцієнт небезпеки дії $K_{дф}$ від кожного фактора умов праці і від усіх діючих факторів K .

Ці коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$K_{дф} = K_n * T_{дф}; \quad (5.2)$$

$$K = \frac{K_{дф}}{n}; \quad (5.3)$$

де $T_{дф}$ - тривалість дії фактора; n - кількість факторів умов праці.

Результати підрахунків заносяться у гр. 9 і 10 табл. 5.1 – карти умов праці у виробничому цеху.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявленні при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій.

Карта умов праці

Таблиця 5.1

№ фак- Тора	Фактори умов праці	Нормативне значення фактора	значення фактора	Коэф. Нормо забезпе- чення Кн.	Час фактора	Коеф. дії		
						В год.	Кдф	
1	2	3	4	5	7	8	9	10
1	Температура повітря							
1.1	взимку	- 14	ГОСТ	0 - (-0.71	8	1	0.71	0.089
1.2	влітку	+ 26	12.1.005-88	10)	8	1	1.13	0.14
2	Вологість повітря, %	40-60	ГОСТ	25 - 30	8	1	1.25	0.16
3	Швидкість руху повітря, м/с	0,3	ГОСТ	50	8	1	0.7	0.088
4	Виробничий шум, дБ	80	12.1.005-88	0,2	4	0.5	0.515	0.064
5	Вібрація загальна, дБа	99	ГОСТ	80 - 82	4	0.5	0.475	0.059
6	Освітлення:		12.1.005-88	95				
6.1	природне, %	70	ГОСТ		8	1	1.07	0.134
6.2	штучне, Лк	95	ГОСТ	75	8	1	1.01	0.126
7	Пил, мЛг/м ³		12.1.012-78	96				
7.1	зерновий	3-4			6	0.75	0.75	0.094
	Робота стояча, %	30	СНиП	2-4-3	6	0.75	0.87	0.109

Але, як показали дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних аварій і катастроф.

Обчислення рівняння безпеки можна спрямувати на удосконалення конструкції технічних засобів, на зниження їх безпеки, а також вживати термінових заходів для першочергового усунення небезпек з більш високим рівнем.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева відказів” та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так, побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм при роботі.

Основні принципи побудови моделі такі. Виявляється виробництво, на якому вже були раніше або можуть статися аварії, виробничі травми чи катастрофи. За своєю формою так модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву “дерево відказів і помилок”. Кінцеві події називають базовими.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.2).

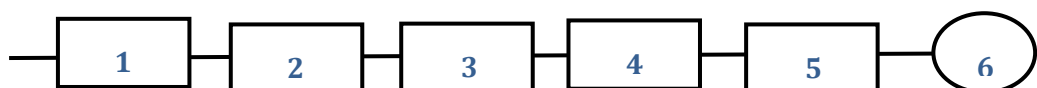


Рис. 5.2 - Схема побудови логіко-імітаційних моделей:

1- головна подія; 2-5- проміжні події; 6- базова подія.

Кожен блок рисунку, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі:

- 1 – відмова (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2 – послідовність подій, що приводять до відмови системи;
- 3 – послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;
- 5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;
- 6 – базові події зображують у вигляді кружечків з написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі.

5.3 Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від досліджуваного явища. Для оцінки рівня небезпеки певного об'єкта чи явища можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці. Основні його принципи полягають в тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель “дерева відмов і помилок оператора”. При цьому важливе значення має правильний вибір головної події.

Головну подію (травма), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої

одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як головна.

Після визначення відповідних травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі. Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів. Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми для випадку технологічного процесу виробництва складемо список базових подій. Вони лежатимуть у основі даної

моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Нижче подано сам список:

1. Стан контролю з охорони праці $P_1 = 0,2$;
2. Несерйозне відношення до проходження ТО $P_2 = 0,1$;
3. Відсутність комплектуючих $P_3 = 0,2$;
4. Невисока міцність $P_4 = 0,03$;
5. Застаріле обладнання $P_6 = 0,02$;
6. Попадання предметів з навколишнього середовища $P_7 = 0,4$;
7. Досвід роботи $P_{12} = 0,35$.
8. Професійний рівень робітника $P_{13} = 0,5$;
9. Психофізіологічний стан робітника $P_{14} = 0,083$;

На основі даного списку будуємо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічне представлення якої зображено на рис. 5.3.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що входять у дану логіко-імітаційну модель процесу виробництва (на прикладі ймовірності травми робітника, пов'язаної з ударом корпусу дробарки).

Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,003 - 0,2 \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,1 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 = 0,314$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так: $P_{10} = 0,2 + 0,1 = 0,3$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,02 \cdot 0,314 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 0,00075$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,083 = 0,0145$$

$$\text{Ймовірність події } P_{18}: P_{18} = 0,5 + 0,083 = 0,58$$

$$\text{Ймовірність події } P_{19}: P_{19} = 0,0145 \cdot 0,083 = 0,0012$$

$$\text{Ймовірність події } P_{20}: P_{20} = 0,00075 + 0,0012 = 0,00195$$

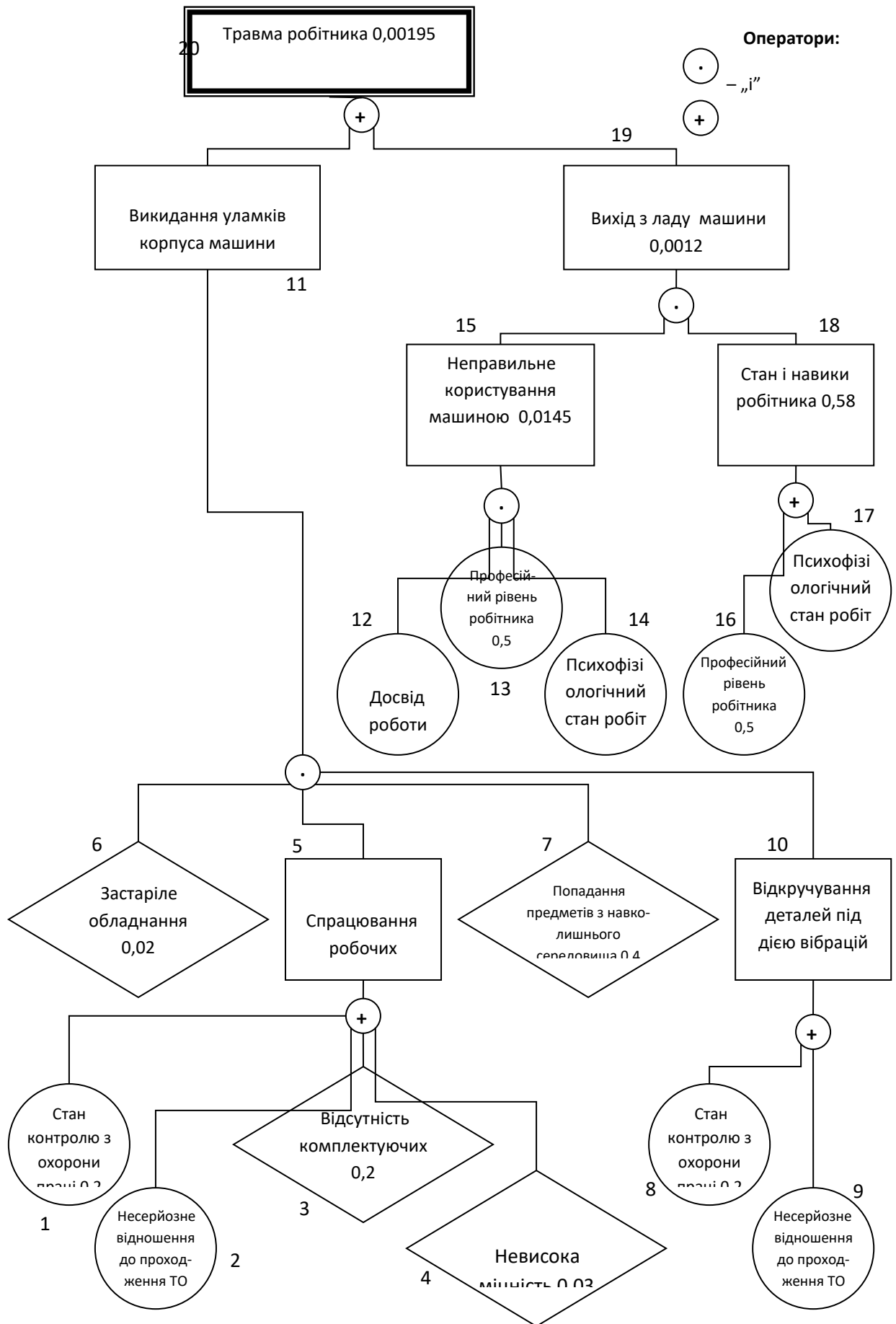


Рис. 5.3 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки будь-якого робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які охоплюють як стан обладнання і самого робочого місця, так і поведінку працюючого і обчислити ймовірність виникнення травми.

Після аналізу результатів моделювання ймовірність виникнення травми можна звести до дуже малої величини – достатньо зменшити вплив ймовірностей вихідних факторів, які до неї призводять.

5.4 Розробка заходів щодо захисту населення

Захист населення базується на державній системі заходів, що забезпечують виконання організаційних, інженерно - технічних, санітарне - гігієнічних та інших заходів в сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій природного характеру, які можуть виникнути на території підприємства належить: пожежа, ураган, смерч, землетрус, великі опади дощів.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитись спеціальний комплекс заходів, а саме:

- оповіщення та інформування населення про надзвичайну ситуацію, яка може виникнути;
- спостереження і контроль за довкіллям , продуктами харчування і водою;
- створення захисних споруд та укриття в них усього населення відповідно до приналежності (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечній зоні);
- проведення медичного захисту для зменшення ступеня ураження людей, своєчасне надання допомоги та лікування.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Під час проектування та розрахунки скребкових конвеєрів проводяться на даний час за специфікою та типовими схемами зокрема сільськогосподарського виробництва.

При розрахунку конструкції конвеєра необхідно враховувати їх собівартість, яка залежить від виробництва, виготовлення елементів, а саме приводів, редукторів, робочого органа, жолоба, елемента керування, завантаження та розвантаження, з'єднувальні та опорні-поворотні блоки, а також кошторису складання конвеєра.

Визначення кошторису будь-якого конвеєра можна вирахувати за формулою:

$$C_B = k_{np-z} \cdot \sum_{n=1}^m B_n + \sum_{r=1}^l C_r + \sum_{y=1}^o C_y + k_{допл} \cdot k_{доод} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h, \quad (6.1)$$

де k_{np-z} – коефіцієнт, який враховує витрати закупівлі матеріалів, 1,05...1,13; B_n – коефіцієнт, що враховує вартість стандартних конструктивних елементів, грн.; C_r – собівартість конструктивних елементів (КЕ), для сортового металопрокату, грн.; C_y – собівартість оригінальних конструктивних елементів, грн.; m , l , o – кількість стандартних та оригінальних конструктивних елементів, шт.; $k_{допл}$ – коефіцієнт витрат на доплати, 1,25...1,3; $k_{доод}$ – коефіцієнт на додаткову заробітню платню робітникам, 1,03...1,1; $k_{нар}$ – коефіцієнт, на відрахування соціального страхування, 1,38...1,39; c_3 – середня погодинна ставка основних робітників, грн.; T_h – коефіцієнт з врахуванням трудомісткості складання конвеєра, нормогод.

Закупівля стандартних конструктивних елементів здійснюється на заводах, які виготовляють елементи керування, електродвигуни та силові кабелі чи на ринку. Виробнича собівартість конструктивних елементів зв'язана напряму із матеріальними витратами їх виготовлення та визначається за формулою:

$$C_r = k_{сер} \cdot k_{ав} \cdot k_{мр-1} \cdot m_m \cdot Ц_m - m_e \cdot Ц_e, \quad (6.2)$$

де $k_{сер}$ – коефіцієнт, який враховує виготовлення конструктивних елементів одиничним виробництвом: 1,25...1,5 - серійним виробництвом: $k_{мв} = 1,01...1,25$ - масовим виробництвом: , $k_{мр-1}$ – коефіцієнт, який закладає витрати на виготовлення елементів, 1,35...2; m_m – вага матеріалу 140 для виготовлення, кг; $Ц_m$ – середня ціна матеріалу для виготовлення, грн.; m_e – вага відходів матеріалу для виготовлення, кг; $Ц_e$ – ціна відходів матеріалу для виготовлення, грн.

Виробнича собівартість оригінальних конструктивних елементів при розрахунку необхідно врахувати затрати на матеріали, а також заробітну плату. Для виготовлення конструктивних елементів виробнича собівартість пов'язана з видами виробництва, технологія виготовлення та витратати на матеріали та визначається за формулою:

$$C_y = k_{сер} \cdot k_{скл} \cdot ((k_{мр-1} \cdot k_{дм} \cdot (\sum_{z=1}^l n_z \cdot Ц_z + \sum_{j=1}^q m_j \cdot Ц_j - \sum_{j=1}^q m_{ej} \cdot Ц_{ej})) + (k_{донт} \cdot k_{дод} \cdot k_{мр} + k_{м}) \cdot (c_1 \cdot \sum_{e=1}^w T_e + c_2 \cdot T_r) + k_{ав} \cdot \sum_{j=1}^q m_j \cdot Ц_j) \quad (6.3)$$

де $k_{скл}$ – коефіцієнт, який визначає складність конструкції для виготовлення, 1..1,5; $k_{дм}$ – коефіцієнт, який враховує затрати на допоміжні матеріали, 1,01...1,05; l – вид складових для виготовлення конструктивних елементів; n_z – кількість складових іншого виду, для виготовлення конструктивних елементів; $Ц_z$ – ціна складової іншого виду, грн.; q – кількість матеріалу для виготовлення елементів; m_j – вага матеріалу для виготовлення конструктивних елементів, кг; $Ц_j$ – ціна матеріалу j-го виду, для виготовлення конструктивних елементів, грн.; m_{ej} – вага залишку j-го виду, кг; $Ц_{ej}$ – ціна залишку матеріалу, грн.; $k_{зв}$ – коефіцієнт, який враховує виробничі затрати при виготовленні конструктивних елементів, 1,4...1,8; c_1 , c_2 – середня погодинна ставка робітників, при виготовленні конструктивних елементів, грн.; w – кількість деталей конструктивних елементів; T_e – трудомісткість механічної обробки конструктивних елементів, норм/год.; T_r

– затрата праці для складання та налагодження конструктивних елементів, норм/год.; $k_{ен}$ – коефіцієнт, для розрахунку затрат енергії для технологічного процесу виготовлення конструктивних елементів, $k_{ен} = 1,05 \dots 1,2$. При визначенні собівартості конвеєрів в даних залежностях приведено ціна муфт які вибиралися стандартні, а також можна їх враховувати типовими конструктивними елементами: собівартості трубчастого скребкового ланцюгового конвеєра визначили за залежністю:

$$C_{ТСК} = k_{сп-1} \cdot (C_{нТСК1} + C_{нТСК2} + C_{нТСК3} + C_{нТСК4}) + C_{рТСК5} + C_{рТСК6} + C_{рТСК7} + i_{ТСК} \cdot C_{уТСК8} + C_{уТСК9} + k_{дан} \cdot k_{дан} \cdot k_{сп} \cdot c_3 \cdot T_4 \quad (6.4)$$

де враховують ціну привода, редуктора, муфти, елементів керування, жолоба, елементів розвантаження, з'єднувальних та поворотних елементів, кількість передач (спеціальних зірочок з кріпленням), ціну передач, ціну робочого органу.

Для прикладу розглянемо насіннєвий зерновий матеріал. При використанні пневматичних та гнучких гвинтових конвеєрів для перевантаження насіння його пошкодження відбувається в межах 1,4...5% (табл. 5.1). Найменше травмування насіннєвого матеріалу відбувається при його перевантаженні по криволінійних траєкторіях трубчастими скребковими конвеєрами - 0,57...0,7%. При розрахунках ми нехтуємо подальшими втратами, які будуть викликані недоотриманням врожаю, що пов'язано з внесенням в ґрунт пошкодженого насіння. Результати розрахунків при транспортуванні сипких матеріалів, які травмуються, та врахування середньої ціни на сипкий матеріал (01.01.2023 р.: пшениця – 5260 грн./т; соя – 9150 грн./т; горох – 4540 грн./т) наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Порівняльна таблиця пошкодження сипкого матеріалу при транспортуванні по криволінійних трасах різних видів конвеєрів

Тип конвеєра	Продуктивність конвеєра, т/год.			Пошкодження насіння при транспортуванні, %			Втрати насіння пов'язані з його пошкодженням, грн.					
	пшениця	горох	соя	пшениця	горох	соя	годинні			річні (одна зміна)		
							пшениця	горох	соя	пшениця	горох	соя
Трубчастий-сребковий	4,97	5,2	5,7	0,67	0,81	0,96	31,21	25,82	79,33	65229	56783	215374
Гнучкий-гвинтовий	7,1	8,05	12,9	1,86	1,41	2,18	242,5	179,21	1044,71	477716	333351	2255074
Гнучкий-пневматичний	5,7	6,69	7,2	2,02	1,4	5,03	225,5	99,1	922,71	439613,3	214924,3	2014735,3

Собівартість виготовлення при використанні конвеєрів для транспортування по криволінійних трасах складає 15170 грн.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведено аналіз теоретичних розрахунків коливань привідного ланцюга конвеєра, який транспортує сипкий матеріал, зумовлених внутрішніх періодичних збурень. Встановлено умови існування резонансних коливань для різних швидкостей переміщення сипкого матеріалу. Показано, що максимальне динамічне напруження у ланцюгу є більшим для більших величин швидкості транспортування сипкого матеріалу: зростання швидкості транспортування від 1 м/с до 2 м/с, що спричиняє при $v = 1,3$ та $L = 20$ м збільшення динамічного напруження у 5,2 рази, а зростання швидкості від 2 м/с до 3 м/с за тих же параметрів – у 3 рази.

Для дослідження динаміки зернової суміші та процесу сепарації здійснено аналіз методик визначення її основних фізико-механічних характеристик. Встановлено:

- власна частота коливань сипкого матеріалу, а відтак, процес сепарації залежить від амплітуди його коливань, до того ж, для сипких матеріалів із параметром нелінійності пружних характеристик $1 - \ll 10$ v більшим значенням амплітуди коливань зернового матеріалу вздовж сита відповідає менше значення власної частоти коливань;

- збільшення відносної швидкості (до 1 м/с) сипких матеріалів вздовж сита спричиняє зменшення власної частоти коливань (до 4%); - амплітуда переходу через резонанс сипких матеріалів приймає більші значення для повільнішого переходу через резонанс.

Здійснено дослідження конструкції трубчастих ланцюгових конвеєрів та стендове обладнання з використанням перетворювача частоти Altivar 71 і програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0 дозволили провести комплекс експериментальних досліджень із визначенням продуктивності Q та крутного моменту T від основних факторів: коефіцієнта заповнення K_3 , внутрішнього діаметра труби D , лінійної швидкості транспортування v та кроку робочого органа t_1 , тобто, $Q=f(D, K_3, V)$, $T=f_l(D, K_3, t_1)$.

На основі комплексу експериментальних досліджень отримано

регресійні залежності для визначення ефективного просівання, продуктивності та крутного моменту при транспортуванні трубчастим скребковим конвеєром по криволінійних трасах для матеріалів горох та пшениця. Встановлено, що:

- для ефективного просівання раціональні значення параметрів лежать в межах: швидкість подачі матеріалу – 0,34...0,86 м/с; кут нахилу сита – 10...20°;

- енергоємність в процесі сепарації зернової маси залежить від вказаних вище параметрів та питомого навантаження $q_{\text{пит}}$ і за раціональних їх значень $V=0,6$ м/с; $\alpha=10-20^\circ$, $q_{\text{пит}}=0,9-4,7$ кг/год \times см² становить 0,42–1,7 кВт.

На основі проведеного багатофакторного експерименту побудовано поверхні відгуку та визначено максимальну продуктивність при транспортуванні сумішей сипких матеріалів трубчастим скребковим конвеєром (пшениця, горох) при вологості матеріалу, яка складала $W=10\text{.....}18\%$. Для гороху продуктивність становила в межах $Q = 2100\text{.....}5600$ кг/год, що на 20-25% більше, ніж для пшениці.

На основі проведених досліджень встановлено, що трубчасті скребкові конвеєри, в порівнянні з іншими конвеєрами забезпечують зменшення коефіцієнту травмування зерна у 1,5...2 рази, при цьому на процес травмування найбільше впливає перевищення швидкості руху конвеєра.

Встановлено, що використання сепаруючого бункера дозволяє до відсіювати 70-90% домішок, що запобігає засмічуванню трубопровода дрібнодисперсними відходами на криволінійних траєкторіях та понижує на 10- 20% енергоємність процесу транспортування.

Проведено аналіз стану охорони праці та захисту населення, а також обґрунтовано техніко-економічні показники конструкцій скребкового конвеєра на основі їх порівняльної оцінки з типовими представниками машин, які здійснюють однотипні операції. Економічний ефект від використання трубчастого ланцюгового конвеєра становить 15170 грн.

Список використаних джерел

1. Бурлака О.А. Результати експериментальних досліджень якості відцентрового розвантаження скребкового елеватора зернозбирального комбайна/ О.А. Бурлака // Збірник наукових праць національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”. - Т.IX.- К.: НАУ. - 2000. - С.339-343.
2. Гевко Б.М. Математичні моделі динамічного процесу горизонтальних та вертикальної віток каната трубчастого скребкового конвеєра [Текст] / Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук // Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація і електрифікація сільського господарства». – 2013. – Вип.98. – С.501–509.
3. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
4. Герук С.М. Динамічні навантаження у привідному ланцюзі конвеєра під час резонансних коливань / С.М Герук, А.П. Довбиш // IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 28- 29 березня 2018р.: тези допов. – Житомир : ЖАТК, 2018. – С. 284-285.
5. Герук С.М. Дослідження динамічних навантажень у привідному ланцюзі конвеєра / С.М. Герук, А.П. Довбиш // Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 травня 2016 р.: тези допов. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 40.
6. Герук С.М. Особливості конструкцій трубчастих конвеєрів / С.М. Герук, А.П. Довбиш // Збірник наукових статей. «Сільськогосподарські машини». - Луцьк, 2014. - Вип. 29-30 — С. 15-20.
7. Горошко О. О. Вимушені коливання гнучкого трубопроводу з потоком рідини та нульовим початковим натягом при силовому збудженні/

Горошко О. О., Кикоть С.В.// Вісник Київського ун.-ту. Серія: фіз.- мат. науки.- 2012.- № 3.- С.67-70

8. Дослідження резонансних коливань трубчастих скребкових конвеєрів двовимірних елементів / С.М. Герук, А.П. Довбиш, О.Л. Ляшук, В.З. Гудь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Технічні системи і технології тваринництва” – Харків, 2017. - Випуск 181. — С. 294-305.

9. Дослідження трубчастого скребкового конвеєра з просторовою трасою трасою / І.Т. Ярема, Т.Б. Пиндус, А.П. Довбиш, М.Д. Радик // Міжвузівський збірник “Наукові нотатки”. - Луцьк, 2018. - Випуск 61. - С. 243- 249.

10. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія і практикум з програмним забезпеченням / Душинський В. В. – К. : НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.

11. Луців І. В. Теорія технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – Тернопіль : ТНТУ, 1997 – 310 с.

12. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка. – К., 2004. –№ 2. – С. 8–15.

13. Ляшук О.Л. Науково-прикладні основи створення транспортно-технологічних механізмів неперервної дії сільськогосподарських машин : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.05.11 « машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / О.Л. Ляшук. – Тернопіль, 2015. – 451 с.

14. Пат. 109817 Україна, МПК В65G 19/00, В65G 33/00 (2016.01). Гнучкий трубчастий конвеєр з пересувним завантажувачем / Герук С.М., Довбиш А.П., Ляшук О.Л.; заявники і патентотримувачі Герук С.М., Довбиш А.П., Ляшук О.Л.–№ u201602117; заявл. 04.03.16; опубл. 12.09.16, Бюл. №17.

15. Пат. 124844 Україна, МПК В65G 33/08, (2006.01). Трубчастий ланцюговий транспортер / Герук С.М., Ляшук О.Л., Клендій В.М., Левкович М.Г., Довбиш А.П. Пиндус Т.Б.; заявники і патентоотримувачі Герук С.М., Ляшук О.Л., Клендій В.М., Левкович М.Г., Довбиш А.П. Пиндус Т.Б. – № u201710828; заявл. 06.11.17; опубл. 25.04.18, Бюл. №8.

16. Пат. №94205 Україна, МПК (2014.01): В65G 33/00. Гнучкий трубчастий змішувач з вертикальною подачею сипких матеріалів [Текст] / Ляшук О.Л.; заявник і власник патенту Ляшук О.Л. – № u201402119; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. №21.

17. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В.Брагінець, О.О.Заболотько та інш.; - К.:Кондор, 2011. - 396с.

18. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С.197–210.

19. Сокіл М.Б. Згинні коливання гнучких елементів систем приводів і структура розв'язку їх математичних моделей / Сокіл М.Б. // Вісник НЛТУ України". – 2012. – Вип. 22.1. – С. 144-147.

20. Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання/ О.Л. Ляшук, Р.Б. Гевко, В.О. Дзюра, О.М. Кирик, А.П. Довбиш – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 167 с.

21. Стоцько З. А. Динаміка сипкого середовища у вібраційному сепараторі / З. А. Стоцько, Б. І. Сокіл, Д. П. Котлярова, В. Г. Топільницький // Вісник НУ "Львівська політехніка" Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2008. – №614. – с. 125 – 130.

22. Токарчук О.А. Обґрунтування параметрів скребкових робочих органів транспортерів-змішувачів концентрованих кормів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / О.А. Токарчук– Вінниця, 2014. – 21с.

23. Chen L. Q. Analysis and control of transverse vibrations of axially moving strings / L. Q. Chen // Appl. Mech. Rev. – 2005.– Volume 58.2. – P. 91–

116.

24. Chen, L. Q. Transverse vibrations of an axially accelerating viscoelastic string with geometric nonlinearity'/ Chen, L. Q., Zu, J. W., Wu, J. // Journal of Engineering Mathematics 48,2004.-p. 171–182.

25. Dolipski, M.,Remiorz, E.,Sobota, P Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats by means of a mathematical model of the longwall conveyor Archives of Mining SciencesVolume 57, Issue 4, December 2012, Pages 1101-1119

26. Dynamics of flexible elements of drive systems with variable contact point to the pulleys / M.B. Sokil, O.L. Lyashuk, A.P Dovbush // INMATEH «Agricultural Engineering». – Bucharest, 2016. – Vol. 48, no. 1 / 2016. - P. 119-124.

27. Interpretation of the choice of conveyers with improved technological characteristics / I. Gevko, O. Lyashuk, A. Djachun, A. Dovbush // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. - Lublin–Rzeszow, 2015. – Vol. 17, no. 4 / 2015. - P. 107-116.

28. Oleg Lyashuk, Andriy Dyachun, Roman Zolotuy, Olexandr Oleksyshyn, Yroslav Zamora, Zdenko Tkáč. – Results of experimental research of granular materials transportation by tubular scraper conveyors. In acta technologica agriculturae. – 2013. – no. 4. – PP.101-105. Nitra. Slovak Republic. ISBN 1335-2555.

29. Petro Kryvyi, Oleg Lyashuk, Petro Kryvins'kyi and Maroš Korenko. – Influence of dimensional parameters stochastics of hauling laminated bushless chain elements of improved construction on its bearing capacity. In acta technologica agriculturae. – 2014. – no. 3. – PP.61–65.

30. Krzysztof Cenacewicz, Andrzej Katunin Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 38, No. 2, 2016.