

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів гвинтового завантажувача
при змішуванні та перевантаження сільськогосподарської
продукції”**

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

Петрович Дмитрій Федорович
(Прізвище та ініціали)

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

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

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.т.н., доцент Шарибура А.О.

“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Петровичу Дмитрію Федоровичу

1. Тема роботи: **“Обґрунтування параметрів гвинтового завантажувача при змішуванні та перевантаження сільськогосподарської продукції”**

Керівник роботи: Буртак Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 12.12.2025 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.

3. Програма та методика досліджень.

4. Результати досліджень та їх аналіз.

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища.

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 Олександра Семковича			
5	Кохана Т.М., к.е.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 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>	28.02.25- 28.03.25	
2.	<i>Виконання другого розділу: «<u>Теоретичні дослідження</u>»</i>	31.03.25- 30.04.25	
3.	<i>Виконання третього розділу: «<u>Програма та методика досліджень</u>»</i>	01.05.25- 02.06.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу: «<u>Результати досліджень та їх аналіз</u>»</i>	03.06.25- 01.09.25	
5.	<i>Написання розділу «<u>Охорона праці та захист навколишнього середовища</u>»</i>	02.09.25- 30.09.25	
6.	<i>Виконання розділу: «<u>Економічна ефективність</u>»</i>	01.10.25- 31.10.25	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	03.11.25- 01.12.25	

Студент _____ Дмитрій Петрович
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир Буртак
(підпис)

Обґрунтування параметрів гвинтового завантажувача при змішуванні та перевантаженні сільськогосподарської продукції.

Петрович Дмитрій Федорович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича. –Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025.

95 с. текст. част., 46 рис., 11 табл., 31 джерело.

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.

Експериментальні випробування з визначення продуктивності перевантаження мобільними гвинтовими багатофункціональними транспортерами сільськогосподарських вантажів показали, що: - продуктивність перевантаження кукурудзи ТГК зростає прямопропорційно до зростання частоти обертання шнека і в меншій мірі залежить від кута його нахилу. Максимальна значення продуктивності під час транспортування багатокомпонентної кормової суміші ГЗП складало 7,7 т/год., при цьому мінімальне значення складає 2,64 т/год. при мінімальній частоті обертання (312,4 об/хв.) ГРО і мінімальному кроку витків (0,09 м).

Проведено аналіз стану охорони праці та захисту навколишнього середовища, а також обґрунтовано техніко-економічні показники конструкцій скребкового конвеєра на основі їх порівняльної оцінки з типовими представниками машин, які здійснюють однотипні операції. Економічний ефект становить 117524 грн.

ЗМІСТ

ВСТУП		
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1	Гвинтові конвеєри, при транспортно-технологічних операціях сільськогосподарського виробництва	8
1.2	Гвинтові механізми із можливістю мобільних змін траєкторії перевантаження	10
1.3	Гвинтові конвеєри при виконанні транспортно-технологічних операцій	21
1.4	Мета та завдання досліджень	24
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
	Аналіз принципів методологій синтезу гвинтовими конвеєрами	
2.1	із можливістю технологічних перетворень та мобільних змін траєкторій перевантаження сільськогосподарської продукції	25
2.2	Структурно-схемний синтез конструкцій секційних шнеків	36
2.3	Структурно-схемний синтез конструкцій гвинтових змішувачів	44
2.4	Дослідження руху окремої матеріальної частинки по горизонтальному сити	40
3	ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	52
	Методика проведення експериментальних досліджень	
3.1	гвинтових конвеєрів при здійсненні транспортно-технологічних операцій	52
3.2	Дослідна установка для здійснення досліджень	59

4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	64
4.1	Дослідження процесів викочування-закочування рухомої частини шнека в секційному гвинтовому транспортері	64
4.2	Результати по визначенню продуктивності	66
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	72
5.1	Аналіз виробничих небезпек під час виробництва	72
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій	74
5.3	Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва	78
5.4	Розробка заходів щодо захисту навколишнього середовища	82
6	Економічна ефективність	83
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	90
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

Вступ

Розвиток сільськогосподарського виробництва потребує нових типів машин і механізмів, які б покращували умови праці та об'єднували й удосконалювали різні технологічні процеси. Важлива роль у сільськогосподарському виробництві відіграє процес переміщення вантажів, який часто пов'язують з очищенням і переробкою сільськогосподарської продукції. При цьому переважна більшість усіх технологічних операцій з переміщення сільськогосподарських вантажів здійснюється шнеками різних типів. До них відносяться багатофункціональні секційні шнеки (БСШ), з допомогою яких здійснюють супутні технологічні операції сільськогосподарського виробництва. До БСШ ставляться високі вимоги щодо відповідності призначенню, якості виконання технологічних операцій, продуктивності, енергоощадності, надійності, ремонтпридатності і простоти обслуговування. Від вказаних характеристик значною мірою залежить ефективність функціонування ферм, токів, комбікормових цехів та інших підприємств агропромислового комплексу.

Недоліком БСШ є невеликий функціонал застосування, що пояснюється відсутністю їх прогресивних конструктивних схем, часто завищеною складністю, металоємністю та собівартістю виготовлення, не надто високою надійністю та ефективністю. А тому важливою науковою проблемою, що потребує вирішення, є створення високоефективних багатофункціональних гвинтових систем, розширення їх технологічних можливостей, зокрема шляхом розробки методологій їх проектування та конструктивного і технологічного удосконалення із розвитком відповідних механіко-технологічних основ.

Відтак розробка та вдосконалення багатофункціональних секційних шнеків, що забезпечують суміщення технологічних операцій та розширюють їх технологічні можливості, зокрема, зміною довжини та траєкторії траси і, відповідно, розширення зони обслуговування, безумовно є актуальною та має велике значення для економіки України та інших країн.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Гвинтові конвеєри, при транспортно-технологічних операціях сільськогосподарського виробництва

Технологічні процеси, які здійснюються у сільськогосподарському виробництві невід’ємно пов’язані із переміщеннями значних обсягів вантажів на всіх етапах —подача сільськогосподарської продукції та її технологічної трансформації до видачі готових продуктів. Формування вантажних потоків у сільськогосподарських підприємствах ключовим є використання транспортно-технологічних систем машин, серед яких важливе місце посідає використання гвинтових(шнекових) конвеєрів, які здатні не лише транспортувати, а й здійснювати перетворення матеріалів.

Машин комплексної механізації повинні відповідати підвищеним вимогам, а особлива увага приділяється наступним показникам: продуктивність, енергоефективність, міцність, надійність, ремонтпридатність та простота технічного обслуговування. Саме від цих характеристик значною мірою залежить ефективність роботи, зокрема на тваринницьких фермах, зернотоках, комбикормових підприємствах та інших об’єктах аграрної інфраструктури.

Попри те, що внутрішня промисловість забезпечує аграрну галузь широким спектром транспортних і технологічних машин, за низкою техніко-економічних показників (зокрема металомісткістю, надійністю та ефективністю) вони все ще поступаються аналогам іноземних виробників. У цьому контексті особливої актуальності набуває створення нових конструкцій гвинтових конвеєрів щоб здійснювати транспортно-технологічні операції, що також охарактеризовано значними обсягами наукових досліджень у цій сфері [2, 6, 9, 14, 16, 26-31].

Розроблення інноваційних конструкцій шнекових механізмів передбачає розширення їхні функціональні можливості, та із можливістю забезпечення супутніх технологічних операцій під час перевантаження матеріалів сільськогосподарського виробництва. Досягнення високих якісних

показників можливе за умови генерування нових технічних рішень та застосування методів оптимізації, зокрема кінематичні, динамічні і конструктивні параметри робочих органів.

Значний внесок у формування теоретичних засад розрахунку та експлуатації шнекових механізмів зробили Адігамов К.А., Богацький В.М., Вайсон А.А., Гевко І.Б., Герман Х., Співаковський А.О., Ярошенко В.Ф. та інші дослідники. У їхніх працях здійснено обґрунтування закономірностей при роботі шнекових транспортерів згідно виробничих умов, здійснено визначення кінематичних та динамічних характеристик при їхньому функціонуванні, здійснено опис відносного руху матеріальної точки по поверхнях витків шнеків, а також наведено основи методик розрахунків техніко-економічних показників таких машин.

Водночас сучасне машинобудування потребує вирішення нових науково-технічних завдань, які пов'язані із удосконаленням розрахунків, проєктування, експериментальних досліджень та вибір оптимальні енергосилові параметри гвинтових робочих органів. Адже кожен механічний пристрій має як переваги, так і недоліки. До позитивних характеристик шнекових конвеєрів належать:

- простота конструкцій;
- легкість технічного обслуговування;
- надійності роботи;
- герметичності транспортного каналу;
- компактність;
- можливість розвантажень у будь-яких точках траси конвеєрів.

Водночас до типових недоліків відносять:

- можливість травмування та пошкодження сипучих матеріалів;
- дроблення крихких матеріалів;
- підвищені енерговитрати, як наслідки інтенсивного тертя матеріалу;
- обмежені продуктивності (у межах 200 м³/год);
- невелику довжину при транспортуванні із використанням одного

приводу (у межах 40 м).

Попри те, використання гвинтових транспортерів залишається ключовим елементом аграрної техніки, функціонуючи як самостійні агрегати або як складові компонентів інших машин. Значна кількість досліджень вітчизняних учених (Адамчук В.В., Барановський В.М., Бойко А.І., Василенко П.М., Грудовий Р.С., Дідух В.Ф., Ревенко І.І., Хайліс Г.А. та ін.) присвячена взаємодії гвинтових робочих органів із агропродукцією під час сепарації зерна, при калібруванні плодоовочевої продукції, протруюванні насінєвих матеріалів, внесенні різних видів добрив, подрібненні, змішуванні, запарюванні та роздача кормових матеріалів, а також пресування, екструзія та гранулюванні сільськогосподарської продукції.

Питання підвищення ресурсів при роботі гвинтовими робочими органами у зерноочисній техніці залишається надзвичайно актуальним. Куликівський В.Л. установив, що максимальні показники зношування витків шнеків відбувається по зовнішніх кромках через защемлення зерен між витком та кожухом.

Однак низка аспектів, пов'язаних зі проєктуванням високоефективних гвинтових конвєсєрів із можливістю технологічного впливу на матеріал і гнучкою зміною траєкторії його переміщення, досі залишається недостатньо дослідженою. Саме це визначає подальшу актуальність наукових робіт у даному напрямі.

1.2 Гвинтові механізми із можливістю мобільних змін траєкторії перевантаження

Гвинтові робочі органи знайшли широке застосування у аграрній сфері згідно високої продуктивності, конструктивній простоті та легкості у експлуатації. Такі агрегати ефективно використовуються дискретними технологічними схемами, так і із високопродуктивними автоматизованими лініями.

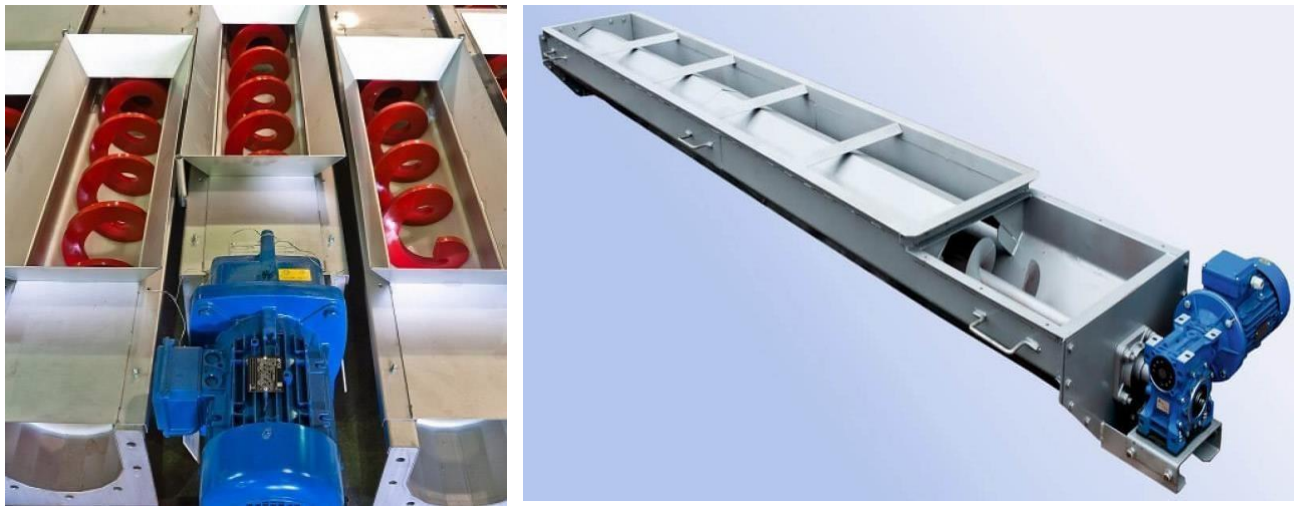
Використання гвинтових транспортерів (ГТ) зі змінною траєкторією при

переміщенні сільськогосподарських матеріалів відносяться до простих та надійних механізмів, придатних для транспортування сипучих матеріалів, а також продуктів переробки тваринницьких відходів. Їх ключовою перевагою є можливість швидкої зміни напрямку переміщення вантажу, що значно розширює сферу застосування. Вони можуть транспортувати сільськогосподарські матеріали по різних траєкторіях, зокрема горизонтальні, похилі і вертикальні магістралях, а також криволінійні із мінімальним радіусом кривини $R_k=1\text{м.}$, а значення довжини робочих магістралей знаходиться у межах 20 м., та відповідно продуктивності - 20 т/год.

Пошуки оптимальних схем гвинтових транспортерів при транспортуванні сипучих сільськогосподарських матеріалів по криволінійній магістралі сприяв появі широкого спектра конструкцій робочих органів із різною будовою та функціональним призначенням [4]. Залежно від способу завантаження відомо широке використання одно- та двомагістральних гвинтових транспортерів. В одномагістральних моделях завантаження зазвичай здійснюється через бункер, де привід розташовується в зоні подачі матеріалу. У низці конструкцій гнучких транспортерів завантаження відбувається шляхом забору сировини відкритими спіралями з використанням додаткових насадок; у цьому випадку привід зазвичай встановлюється із боку вивантаження. Щоб підвищити маневровості робочих елементів застосовуються двомагістральні гвинтові транспортери, які привід і вивантажувальний патрубок об'єднано одним технологічним вузлом.

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значною кількістю відходів, транспортування яких здійснюється, зокрема, за допомогою ГТ виробництва ТОВ «КОМПАНІЯ ЕКОТОН». Такі транспортери являють собою безвальні шнекові конвеєри (рис. 1.1, а) і призначені для переміщення зневодненого шламу (вологістю до 85 %, рН 6,5–8,5) на відстань до 30 м у горизонтальній або похилій площині. Спіралі робочих органів виготовляються із зносостійких вуглецевих сталей, тоді як елементи корпусу виконані із корозійностійких сталей AISI304. Конструкція є секційною, з U-

подібним жолобом і завантажувальним бункером, дно жолоба підсилене полімерною вставкою, що зменшує зношування, а залежно від напрямку обертання спіралі конвеєр працює в режимі «штовхаючого» або «тягнучого». Значення допустимого кута нахилів — від 0° до 90° . Основним недоліком таких конвеєрів є низька мобільність щодо зміни напрямку та довжини подачі матеріалу, що ускладнює адаптацію до змін технологічного процесу.



а)

б)

Рисунок 1.1 – Секційні шнекові конвеєри ТОВ «КОМПАНІЯ ЕКОТОН»:

а – безвальний для транспортування відходів на сільськогосподарських фермах; б – для дозування сільськогосподарських матеріалів

Аналогічні обмеження характерні для розвантажувальних гвинтових конвеєрів типу ВРК (рис. 1.1,б), які застосовуються для вивантаження зернових сумішей та продуктів їх переробки, а також комплектуються різними варіантами розташування приводу. Їхня довжина може досягати 24 м., однак мобільність зміни траси транспортування також залишається низькою.

З огляду на інтенсифікацію аграрного виробництва значного поширення набуло використання мобільних перевантажувальних пристроїв, зокрема, бункери наземні перевантажувальні БНП-12/Е (рис. 1.2) виробництва ТОВ «Завод Кобзаренка» та Ліліан МВА (рис.1.3), які знайшли широке використання при завантаженні вагонів, барж та інших транспортних засобів зерном чи добривами. Він поєднує три горизонтальні та один мобільний шнек

і оснащується електроприводами або приводом від ВВП трактора. Проте ця техніка характеризується високою матеріаломісткістю, значною складністю конструкцій та використанням гідравлічних і пневматичних систем складання/розкладання, що збільшує вартість агрегату.



Рисунок 1.2 – Бункер
перевантажувач БНП- 12/Е
(електричний) ТОВ
«Завод Кобзаренка»



Рисунок 1.3 – Гвинтовий
перевантажувач з
приводом від трактора
фірми «Ліліан МВА»



Рисунок 1.4 – Гвинтовий
перевантажувач з
приводом від трактора
John Deere (Canada)

Подібні недоліки характерні й для перевантажувачів компанії John Deere (рис. 1.4), хоча їх конструкція є простішою. Обмеження полягають насамперед у мінімальній можливості змінів напрямків подач.

На підприємствах зернопереробної галузі використовуються гвинтові хопери У9-РХ-61 ПАТ «ЕКВІПТЕХ» (рис. 1.5). Вони ефективні в умовах завантаження й розвантаження вагонів, однак не передбачають гнучкої зміни траєкторії транспортування матеріалу.



Рисунок 1.5 – Гвинтові хопери У9-РХ-61 ПАТ «ЕКВІПТЕХ» (Україна)

Розкидачі, сівалки та причепи. застосовуються різноманітні начіпні ГТ (рис. 1.6–1.8). Наприклад, пристрій Amazone BS оснащений шнеками (діаметр

- 200 мм., довжина - 2,4 м.), із високою продуктивністю, проте дальність перевантаження є обмеженою та не підлягає регулюванню. Завантажувачі ЗС-30М і ЗС-30М-1 (рис. 1.7), що встановлюються на вантажні автомобілі, також мають складні шнеки з обмеженим діапазоном зміни кута нахилу.



Рисунок 1.6 – Пристрій
завантажувальний
Amazone BS

Рисунок 1.7 – Шнеки
завантажувачі сівалок ЗС-розкладні шнеки ГРШ-
30М, ЗС-30М-01

Рисунок 1.8 – Бортові
ЗС-розкладні шнеки ГРШ-
300/4,5 та ГРШ-350/4,5

Використання бункерів-перевантажувачів (рис. 1.9–1.11) є важливими елементами сучасного технологічного забезпечення збирання зернових культур, оскільки дозволяють оптимізувати роботу комбайнів, забезпечуючи безперервність процесу. При роботі в тандемі один бункер-перевантажувач здатний замінити один комбайн, що істотно знижує витрати на техніку та персонал.

Бункери ТОВ «Завод Кобзаренка», HORSCH Titan UW та компанії Egritech оснащуються складні гідравлічні шнеки з високою продуктивністю. Однак їх недоліками залишаються значна матеріаломісткість, складність конструкції та обмежена гнучкість у зміні довжини траси перевантаження.



Рисунок 1.9 – Бункер- накопичувач
ПБН-16 ТОВ «Завод Кобзаренка»



Рисунок 1.10 – Бункер-
перевантажувач HORSCH Titan UW



а)



б)

Рисунок 1.11 – Бункер-перевантажувач БНП-30 компанії EgriTech:
а – загальний вигляд; б – гвинтові елементи бункера-перевантажувача

Зернозбиральні комбайни містять гвинтові транспортери, які використовуються для вивантаження зерна в транспортні засоби. Через велику довжину шнека, необхідну для роботи поруч із жаткою, їх конструкції виконуються відкидними або складними (рис. 1.12, 1.13), а їх продуктивність таких може сягати 150 л/с. Попри зручність експлуатації, конструктивна складність і громіздкість залишаються чинниками, що зумовлюють потребу подальшого удосконалення.



Рисунок 1.12 – Зернозбиральний комбайн Claas LEXION 460



Рисунок 1.13 – Зернозбиральний комбайн John Deere S690

Використання шнекових навантажувачів являється одним із найпоширеніших транспортно-технологічних засобів, що використовуються у підприємствах агропромислового комплексу (АПК) та фермерських господарствах, а їх широке впровадження зумовлене простотою конструкції, високою маневреністю та надійністю, а також порівняно низькою енергоємністю процесу транспортування сипких матеріалів. Вітчизняні машинобудівні підприємства пропонують значну номенклатуру таких механізмів, конструктивні особливості яких наведено на рис. 1.14,а – 1.14,е.

Функціональні можливості шнекових навантажувачів дозволяють застосовувати їх для виконання широкого спектра технологічних операцій, зокрема:

- при завантаженні й розвантаженні зерносховищ;
- при формуванні буртів і перебуртовування зернових мас на відкритих майданчиках;
- при завантаженні транспортних засобів;
- при транспортуванні та розподілу мінеральних добрив.

Виробниками передбачено як стаціонарні, так і пересувні модифікації обладнання, що розширює можливості їх інтеграції у виробничі процеси сільськогосподарських підприємств різних масштабів (рис. 1.14). Техніко-

експлуатаційні характеристики таких навантажувачів охоплюють такі типові діапазони:

- діаметри перевантажувальних патрубків — 140–250 мм;
- значення довжини конструкції — від 2,5 до 15 м;
- значення максимального кута нахилу — до 45°;
- значення продуктивності — 8–80 т/год;
- тип приводу — однофазні та трифазні електродвигуни.

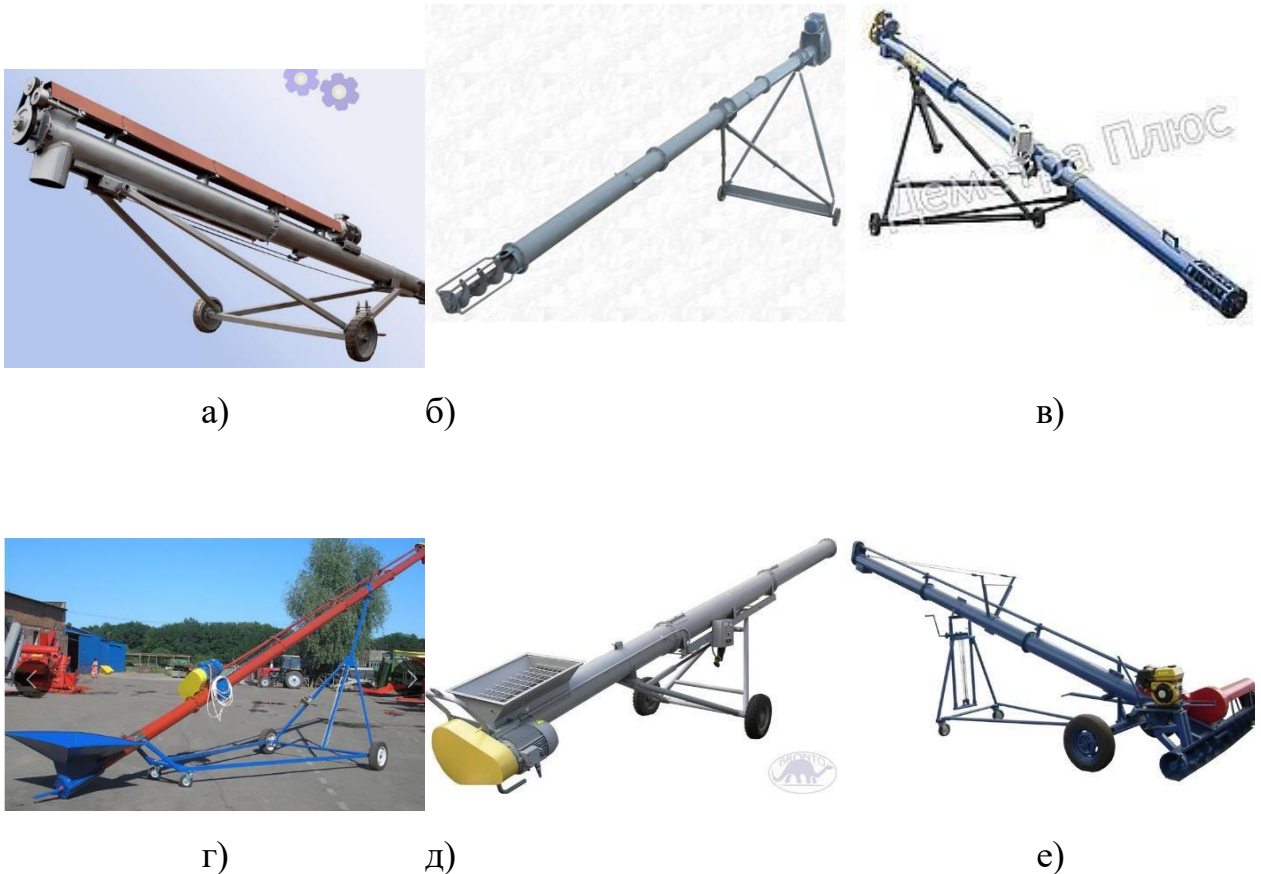


Рисунок 1.14 – Шнекові навантажувачі: а – ТОВ “КіровоградЕлеваторМаш”; б – ТОВ «Технік»; в – ТВК "ДЕМЕТРА ПЛЮС"; г – ТОВ «Завод Кобзаренка»; д – ПАТ «ЧеркасиЕлеваторМаш»; е – ТОВ «Гарант-Агро»

У більшості випадків шнекові транспортери містять завантажувальні насадки (рис. 1.14,а – 1.14,в), однак також поширені конструкції що містять інтегровані бункери (рис. 1.14,г – 1.14,д) або спеціальні завантажувальні пристрої (рис. 1.14,е). Таке компонування дозволяє використовувати ГТ як автономні транспортні засоби або інтегрувати їх у складські та виробничі

ланцюги з іншим технологічним обладнанням.

Однією з ключових переваг шнекових навантажувачів є їхня мобільність: агрегати легко переміщуються в межах виробничих приміщень і майданчиків, що забезпечує швидке виконання операцій із мінімальними простоями техніки та без необхідності застосування додаткових транспортних засобів. Саме тому такі транспортери стали невід'ємними у сільськогосподарських підприємствах, особливо при виконанні операцій із перевантаження зернових культур.

Разом з тим, конструкція традиційних шнекових навантажувачів має низку обмежень. Найважливіші з них:

- неможливість забезпечення значної довжини перевантаження;
- обмежений діапазон регулювання кута нахилу шнека;
- зниження продуктивності при роботі на граничних кутах підйому матеріалу.

Широкого розповсюдження у сільськогосподарському виробництві, набуло використання гнучких гвинтових конвеєрів (рис. 1.15). Їх здебільшого використовують на птахофабриках для роздавання кормів, а також для транспортування сипучих матеріалів різного фізико-механічного складу, зокрема: зернові, порошкоподібні, гранульовані, а також агресивні і високоабразивні.

Основним робочим органом таких конвеєрів є гнучкий спіральний або пружинний шнек, виготовлений із пружних сталей діаметром 50–125 мм, або секційні варіанти спіралей [19]. Їх пріоритетними перевагами є:

- простота конструкції;
- можливість формування довільної траєкторії транспортування;
- швидка зміна конфігурації магістралі;
- герметичність та відсутність вторинного пиловиділення.

Однак експлуатація гнучких ГК супроводжується низкою суттєвих технічних недоліків, серед яких:

- обмежена довжина однієї транспортуючої магістралі (до 6 м);

- нижча продуктивність порівняно з жорсткими шнековими транспортерами;
- складність транспортування матеріалів по вертикальних ділянках;
- суттєві втрати потужності і зменшення висоти подачі при збільшенні кута підйому;
- інтенсивне зношення гнучких спіралей та кожухів;
- ускладнення очищення транспортера після завершення роботи.



а)

б)

в)

Рисунок 1.15 - Гнучкі гвинтові конвеєри:

а – ТОВ «Машинобудівний завод «Вітязь»; б – ТОВ «Завод промислового обладнання «Прогрес»; в – ТОВ «Технік»

Узагальнені техніко-експлуатаційні параметри мобільних гвинтових транспортерів різних типів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри шнекових машин

Назва машини	Частота обертання шнека (n , об/хв.)	Діаметр шнека (D , мм); крок спіралі (t , мм)	Продук- тивність (P)	Кут нахилу (α , град.); висота заван- таження (H , м)	Довжи на шнека (L , м)
Зернозбиральні комбайни					
1	2	3	4	5	6
Нива СК-5	422	$D = 240$; $t = 250$	1920 кг/хв.	$\alpha = 30^\circ$	2,5

1	2	3	4	5	6
Claas Lexion 460	500	$D = 190$; $t = 170$	150 л/с	$\alpha = 60^\circ$	2,68
Комбайн Fendt 5275 С	500	$D = 300$	105 л/с	$H = 4,45$	2,6
John Deere 9650	500	$D = 320$	135 л/с		2,8
Гвинтові конвеєри					
КВЕ	300	$D = 190 - 460$	2...35 м ³ /год.	$\alpha = 0...35^\circ$	2,5
КВЖ-500; КВ-500	45...340	$D = 500$; $t = 500$	75...130 т/год.	$\alpha = 0^\circ$	2,3
Перевантажувачі і завантажувачі					
Перевантажувальний бункернакопичувач ПБН-40	540 / 1000	$D = 520$	5 т/хв. / 12т/хв.	$H = 3,55$	-
Бункер накопичувач БНП-12 КОВЧЕГ	350	$D = 500$	300 т/год.	$H = 5,5$	-
Пристрій завантажу- вальний Amazone BS	400	$D = 200$	35 т/год.	$\alpha = 60^\circ$	2,4
Шнековий наванта- жувач зерна ЗШП-10	300	$D = 250$	40 т/год.	$H = 2,4...7$	2,4
Завантажувачі сівалок ЗС-30М, ЗС- 30М-01	400	$D = 220$	12...25 т/год.	$\alpha = 30^\circ$; $H = 1,8...4$	3,01
Перевантажувальний бункернакопичувач ПБН-20/2	540 / 100	$D = 420$	3...12 т/год.	$H = 4,3$	2,15
Бункер-переван- тажувач Titan UW	500	$D = 600$	18 т/год.	$H = 4,6$	2,3

1	2	3	4	5	6
Бункер-перевантажувач Egritech БНП-30	550	$D = 500$	6 т/хв.	$H = 4,3$	2,15
Змішувачі					
Змішувач СКО-Ф-6-II	18	$D = 220$	10 т/год	0	2,8
СПП-2500	32	$D = 900$	4000 кг/год	0	2,6
Сепаратори					
Шнековий сепаратор ШПС-300	120	$D = 300$	40 м ³ /год	0	3,2
Повітряно-шнековий сепаратор зерна з ГВИНТОВИМ ПНЕВМОКАНАЛОМ	60	$D = 300$	400 кг/год	0	1,7

1.3 Гвинтові конвеєри при виконанні транспортно-технологічних операцій

Сільськогосподарське виробництво включає значну частину технологічних операцій, зокрема при подрібненні, змішуванні, сепаруванні і транспортуванні різних видів сировини, у яких шнекові механізми відіграють роль основних або допоміжних робочих органів. Тому доцільним є аналіз конструктивного різноманіття сільськогосподарських машин та апаратів, оснащених гвинтовими транспортерами (ГТ), що забезпечують виконання транспортно-технологічних функцій.

Однією з ключових сфер застосування гвинтових конвеєрів (ГК) є кормовиробництво, де вони виступають не лише транспортними засобами для переміщення кормів, а й елементами, що реалізують додаткові технологічні операції. Зокрема, у кормовиробництві використовуються процеси

подрібнення та транспортування, при цьому використовуються різноманітні типи дробарок із шнеками (рис. 1.16).

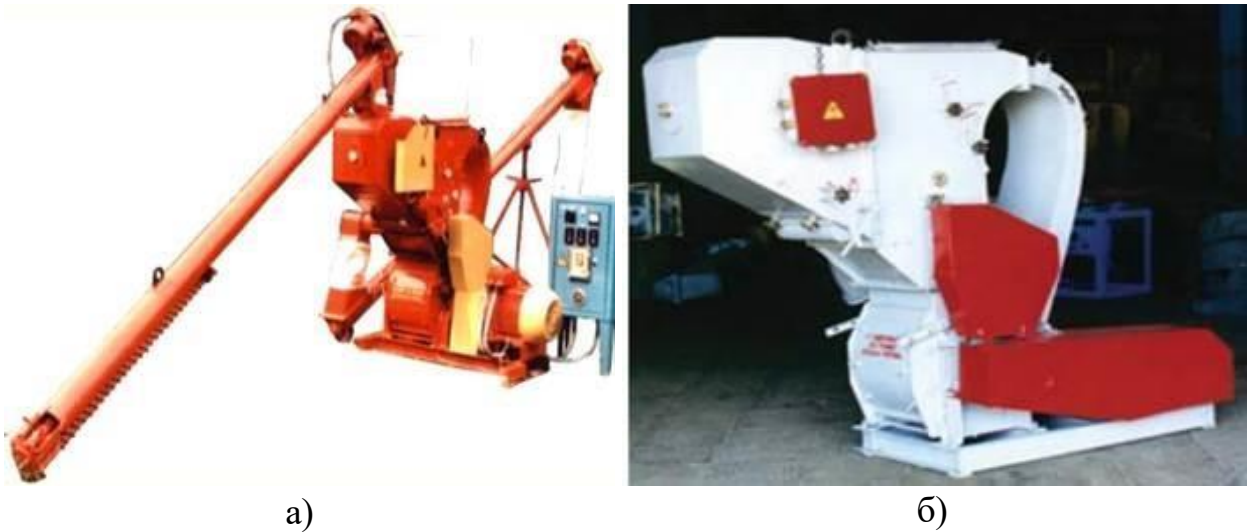


Рисунок 1.16 – Загальний вигляд дробарок: а – ДКМ-5; б – ДЗ-3-0,2

Дробарку ДКМ-5 (рис. 1.16,а) використовують при подрібненні зернових культур і грубих кормів у технологічних лініях кормоприготування.

Дробарку ДЗ-3-0,2 (рис. 1.16,б) використовують при подрібненні різних основних видів зерна та включає завантажувальний шнек, бункер, дробильну камеру, вивантажувальний шнек, електропривід та шафу керування. Зерно через завантажувальний шнек надходить до бункера, а звідти до робочої зони – подрібнення, регулювання потоку здійснюється заслінкою.

У сучасних умовах сільськогосподарські підприємства активно знайшли застосування комбінованих кормоприготувальних агрегатів, у конструкціях яких гвинтові механізми реалізують функції транспортування, змішування, подачі та вивантаження (рис. 1.17). Рисунок 1.17,а представлено комбікормовим агрегатом МКУ-1,5, що включає молоткову дробарку, циклон-дозатор, тензоваговий пристрій, змішувач зі шнековим робочим органом, вивантажувальний гвинтовий конвеєр та блок керування.



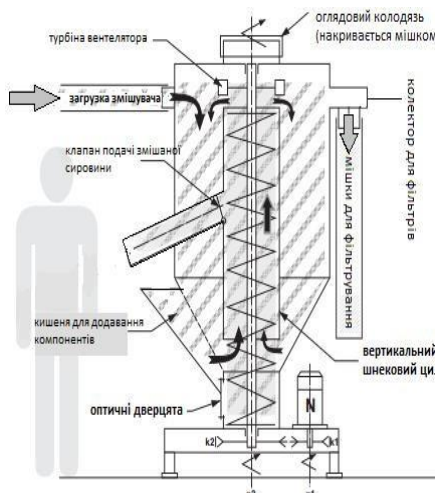
а)



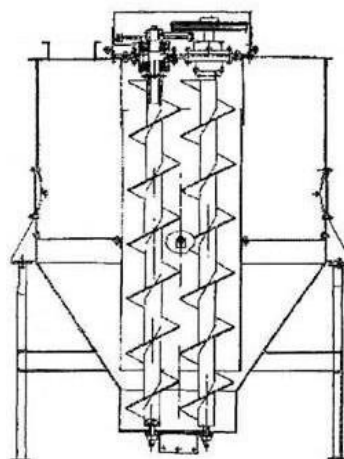
б)

Рисунок 1.17 – Загальний вигляд комбікормових агрегатів: а – МКУ-1,5;
б – ОВК-2

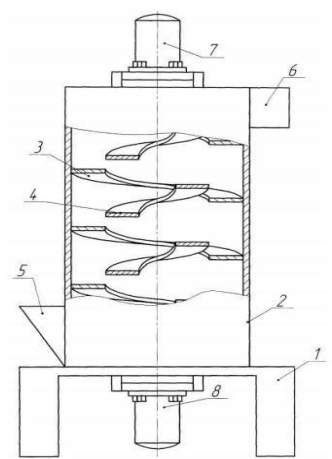
Використання кормоприготувального агрегату ОВК-2 (рис. 1.17,б) при виготовленні повноцінного комбікорму із рослинної, тваринної та мінеральної сировини у господарствах різного масштабу. Даний тип агрегату складається із завантажувального шнекового конвеєра, бункер-дозатора, дробарку, шнекового вивантажувального конвеєра, шафи керування, змішувачів та кінцевого вивантажувального гвинтового транспортера.



а)



б)



в)

Рисунок 1.18 – Вертикальні шнекові змішувачі кормів:

а – з одним шнеком; б – з двома паралельно розташованими шнеками; в – з двома різнонаправленими шнеками

Рисунок 1.18 – відображено використання конструктивних схем змішувачів що містять вертикальні шнекові мішалки. У таких установках процес перемішування здійснюється за рахунок циклічного підняття і опускання сільськогосподарських матеріалів. Вони є конструктивно простими та економічними, їхніми недоліками залишаються тривалість самого процесу змішування та обмежені показники однорідності готових продуктів.

1.4 Мета і завдання досліджень

Метою роботи є підвищення функціонально-експлуатаційних характеристик гвинтового завантажувача при змішуванні та перевантаження сільськогосподарської продукції з обґрунтуванням раціональних режимів роботи.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

1. Провести аналіз конструкцій та досліджень багатофункціональних гвинтових конвеєрів для виконання транспортно-технологічних операцій в сільськогосподарському
2. Здійснити аналіз методологій синтезу конструкцій гвинтових конвеєрів для використання у сільськогосподарському виробництві.
3. Визначити раціональні режими переміщення сільськогосподарської продукції за допомогою багатофункціональних секційних шнеків.
4. Проведення комплексу експериментальних досліджень досліджуваних зразків багатофункціональних секційних шнеків.
5. Здійснити аналіз стану охорони праці і охорони довкілля, та обґрунтувати техніко-економічні показники.

Об’єкт дослідження – багатофункціональні гвинтові систем на основі моделювання, синтезу та аналізу конструкцій.

Предмет дослідження – багатофункціональні секційні шнеки та закономірності взаємозв’язку їх конструктивно-кінематичних параметрів з функціональним призначенням.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз принципів методологій синтезу гвинтовими конвеєрами із можливістю технологічних перетворень та мобільних змін траєкторій перевантаження сільськогосподарської продукції

У відповідності із [8], на сьогодні виокремлюються 18 базові функціональні операції, що здійснюються за допомогою гвинтових транспортно-технологічних механізмів. Крім того, гвинтові конвеєри з розширеними технологічними можливостями здатні виконувати сім основних функціональних операцій, зокрема при:

- поздовжньому транспортуванню;
- змішуванню;
- дозуванню;
- калібруванню;
- нагнітанню;
- пресуванню;
- подрібненню.

При створенні новітнього обладнання, зокрема по конструкції (гвинтові конвеєри), які будуть здійснювати процеси технологічного перетворення сільськогосподарських матеріалів та забезпечення мобільних змін траєкторій його переміщення, здійснено проведення генерування нових технічних рішень із використанням методик синтезу ієрархічними групами у рамках морфологічних аналізів [12].

Згідно результатів структурно-схемного синтезу визначено перелік конструктивних елементів конвеєра та типових зв'язків між ними, які формують сукупність конструктивних ознак майбутніх технічних рішень.

Згідно із проведеним морфологічним аналізом здійснено побудову морфологічної матриці (табл. 2.1), у якій відображено множину можливих конструктивних альтернатив гвинтових конвеєрів і зв'язки між ними [4]. У склад кожної морфологічної ознаки включено альтернативи без попередніх критичних відборів, що дозволяє максимально розширити варіативність

початкової множини рішень. Основними морфологічними ознаками визначено: тип приводу; конструкцію шнека (жолоб і гвинтовий робочий орган); механізми завантаження, пересипу та розвантаження; опорно-руховий механізм, а відповідно не здійснювалось внесення пружних, запобіжних та пружно-запобіжних муфт, оскільки вони належать до складу приводів (ознаки 1.1–1.4), та вібраційних муфт врахованих у складі приводу.

Створена морфологічна таблиця (табл. 2.1) являє собою класичні морфологічні моделі конструкцій гвинтових конвеєрів з можливістю технологічних перетворень сільськогосподарських матеріалів та зміни траєкторій їхнього перевантаження. Числове кодування альтернатив у стовпцях таблиці забезпечує систематизацію конструктивних параметрів і можливість подальшого формального синтезу варіантів.

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

де n – характеристика; K_j – число альтернатив характеристики.

$$N_{ГК} = \left| \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \ 2.13.1 \\ 1.3 \ 2.23.2 \\ 1.4 \ 2.33.3 \\ 1.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 5.16.1 \\ 5.26.2 \\ 7.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 10.1 \\ 10.2 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 11.112.2 \\ 11.212.3 \\ 11.312.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 12.1 \\ 12.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 13.1 \\ 13.2 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 14.115.1 \\ 14.215.2 \\ 14.315.316.1 \\ 14.415.416.2 \\ 14.515.5 \\ 14.615.6 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 20.1 \\ 20.2 \end{array} \right| = 1,5 \cdot 10^{10}.$$

$$\begin{aligned}
 N_{ГК} = & \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \\ 12.4 \\ 12.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \\
 & + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \end{vmatrix} = 72.
 \end{aligned}$$

Згенерована за допомогою класичного морфологічного методу кількість альтернатив конструкцій є надзвичайно великою, що робить їх експертний перебір неефективним, трудомістким і економічно недоцільним. Для підвищення результативності синтезу та скорочення множини можливих варіантів застосовано метод ієрархічного групування, який передбачає розподіл морфологічних ознак на підгрупи з подальшим комбінуванням [12].

Це дало змогу здійснити зменшення кількості згенерованих альтернатив у 2,1 рази порівняно з класичним морфологічним синтезом і забезпечити швидке формування множини конструкцій з найвищим потенціалом практичної реалізації.

У межах запропонованого групування побудовано модель механічних систем «гвинтовий конвеєр» із можливістю технологічних перетворень сільськогосподарського матеріалу та мобільних змін траєкторій при перевантаженні, подану на рисунку 2.1.

Як зазначено у [4], сім початково визначених функціональних операцій гвинтових конвеєрів із розширеними можливостями логічно доповнюються рядом споріднених процесів. Оскільки процеси при нагнітанні, пресуванні та вичавлюванні реалізуються через аналогічні конструктивно-функціональні механізми, їх доцільно об'єднати в одну узагальнену групу. Крім того, операції

при калібруванні раціонально розширити за рахунок сепарування, яке є близьким за характером впливу на сільськогосподарський матеріал.

$N_{ГК}$		$N_{ГК} = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i = 72.$
I(1) II(1) III(1) IV(1) V(1) VI(1) VII(1) VIII(1)		I(1)6₁, I(1)6₂ II(1)7₁, II(1)7₂, II(1)7₃ III(1)9₁, III(1)9₂, III(1)9₃ IV(1)10₁, IV(1)10₂ V(1)11₁, V(1)11₂, V(1)11₃ VI(1)12₁, VI(1)12₂, VI(1)12₃, VI(1)12₄, VI(1)12₅, VI(1)12₆ VII(1)13₁, VII(1)13₂ VIII(1)20₁, VIII(1)20₂
	I(2) II(2) III(2) IV(2) V(2) VI(2)	I(2)4₁, I(2)4₂ II(2)5₁, II(2)5₂ III(2)8₁, III(2)8₂, III(2)8₃, III(2)8₄, III(2)8₅, III(2)8₆, III(2)8₇, IV(2)8₈, IV(2)8₉, IV(2)8₁₀ V(2)17₁, V(2)17₂, V(2)17₃, V(2)17₄ VI(2)18₁, VI(2)18₂, VI(2)18₃
	I(3) II(3) III(3) IV(3) V(3) VI(3) VII(3)	I(3)1₁, I(3)1₂, I(3)1₃, I(3)1₄, I(3)1₅ II(3)2₁, II(3)2₂, II(3)2₃ III(3)3₁, III(3)3₂, III(3)3₃ IV(3)14₁, IV(3)14₂, IV(3)14₃, IV(3)14₄, IV(3)14₅, IV(3)14₆ V(3)15₁, V(3)15₂, V(3)15₃, V(3)15₄, V(3)15₅ VI(3)16₁, VI(3)16₂ VII(3)19₁, VII(3)19₂, VII(3)19₃

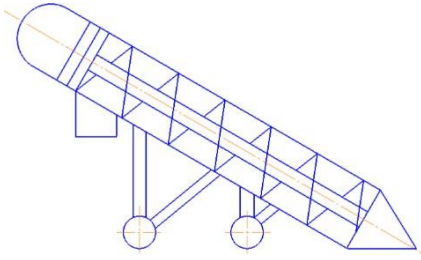
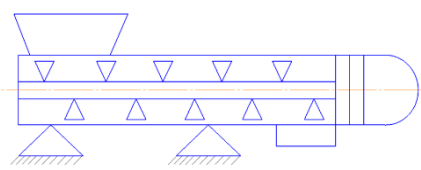
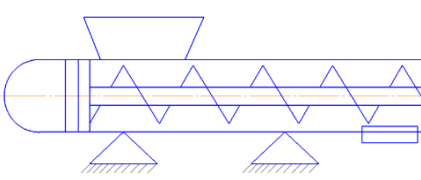
Рисунок 2.1 - Модель механічної системи «гвинтовий конвеєр» з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів: (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні; I - VIII – підгрупи ієрархічного рівня

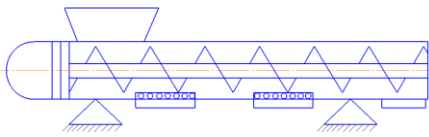
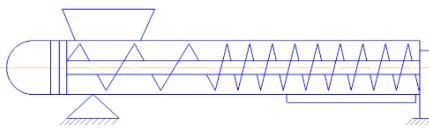
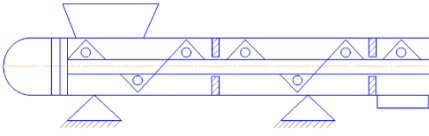
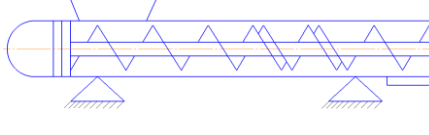
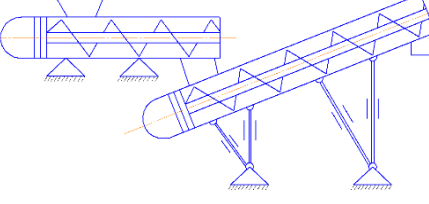
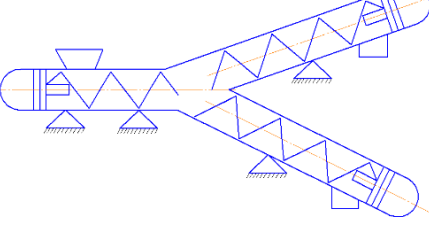
Гвинтовим конвеєрам, здатним до зміни траєкторій переміщення сільськогосподарських матеріалів, пропонується також додавання трьох нових функціональних ознак за призначенням:

– змінювання довжини траси переміщення;
 – регулювання кутів нахилів шнека;
 – можливості одночасних заборів або вивантаження сільськогосподарських матеріалів у кількох точках.

На основі цього здійснено розподіл конструктивних ознак морфологічної матриці (табл. 2.1) відповідно конкретним функціональним призначенням гвинтових конвеєрів, що подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Відповідність конструктивних ознак та елементів основним функціональним операціям чи призначенням проєктованих конструкцій гвинтових конвеєрів

№	Функціональні операції чи призначення	Приклади схем з конструктивними елементами	Кодовані конструктивні ознаки та елементи з табл. 2.1	Основні оптимізаційні параметри*
1	2	3	4	5
1	Повздожнє переміщення		1.1-1.4; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1; 8.1; 8.2; 8.5; 8.9; 9.1-9.3; 10.1; 10.2; 11.1; 12.1; 13.1; 14.1-14.6; 15.1-15.6; 16.1; 16.2; 17.1-17.4; 18.1; 19.1-19.3; 20.1; 20.2	$Q \rightarrow \max;$ $C \rightarrow \min$
2	Змішування		1.1; 1.5; 2.1-2.3; 3.1; 3.2; 4.1; 4.2; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1; 7.2; 8.3; 8.6-8.8; 9.1-9.3; 10.1; 10.2; 11.1-11.3; 12.1-12.3; 13.1; 14.1-14.6; 15.1-15.6; 16.1; 16.2; 17.1-17.4; 18.1; 19.2; 19.3; 20.1; 20.2	$Q \rightarrow \max;$ $K_o \rightarrow \max;$ $C \rightarrow \min$
3	Дозування		1.1; 1.2; 1.4; 2.2; 3.1; 4.1; 5.1; 5.2; 6.1; 7.1; 8.1; 8.2; 9.2; 10.1; 11.1; 12.1; 13.1; 15.1; 15.2; 15.6; 17.1; 18.1; 19.3; 20.1	$dQ/dt \rightarrow \max;$ $Q \rightarrow \max;$ $C \rightarrow \min$

4	Калібрування, сепарування		1.1; 1.5; 2.1-2.3; 3.1; 3.2; 4.3; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1-7.3; 8.1; 8.2; 9.2; 10.1; 11.1; 12.1- 12.3; 13.1; 14.1-14.6; 15.1-15.6; 16.1; 16.2; 17.1; 18.2; 18.3; 19.1- 19.3; 20.1; 20.2	$P(d_i \leq d_1 \leq d_{i+1})$ $\rightarrow \max$; $Q \rightarrow \max$; $C \rightarrow \min$
5	Нагнітання, пресування, вичавлювання		1.1; 1.2; 1.4; 1.5; 2.1- 2.3; 3.1; 3.2; 4.1-4.3; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1; 8.2-8.4; 8.8-8.10; 9.2; 9.3; 10.1; 10.2; 11.1- 11.3; 12.1; 12.4; 12.5; 13.1; 14.1-14.6; 15.1- 15.4; 15.6; 16.1; 16.2; 17.1; 18.1-18.3; 19.1- 19.3; 20.1; 20.2	$P \rightarrow \max$; $Q \rightarrow \max$; $C \rightarrow \min$
6	Подрібнення		1.1-1.5; 2.1-2.3; 3.1; 3.2; 4.1-4.3; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1; 8.2; 8.4; 8.10; 9.2; 10.1; 10.2; 11.1; 12.1; 12.4; 12.5; 13.1; 15.1; 15.2; 15.6; 17.1; 18.1-18.3; 19.1- 19.3; 20.1; 20.2	$Q \rightarrow \max$; $K_y \rightarrow \max$; $C \rightarrow \min$
7	Зміна довжини траси		1.1-1.4; 2.1; 3.1; 4.1; 4.2; 5.1; 5.2; 6.2; 7.2; 7.3; 8.1; 8.2; 9.2; 10.2; 11.2; 11.3; 12.1; 13.2; 14.1-14.6; 15.1-15.6; 16.1; 16.2; 17.1; 18.1; 19.1-19.3; 20.1; 20.2	$L \rightarrow \max$; $Q \rightarrow \max$; $C \rightarrow \min$
8	Зміна кута нахилу перевантаженн я		1.1-1.4; 2.1; 3.1; 3.2; 4.1-4.3; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.1-7.3; 8.1- 8.10; 9.2; 9.3; 10.1; 10.2; 11.1-11.3; 12.1-12.5; 13.1; 14.1-14.6; 15.1- 15.6; 16.1; 16.2; 17.1- 17.4; 18.1; 19.1-19.3; 20.2	$\alpha \rightarrow \max$; Q $\rightarrow \max$; $C \rightarrow$ $\min$
9	Багатотрасове переміщення		1.1-1.4; 2.1; 3.1-3.3; 4.1; 5.1; 5.2; 6.1; 6.2; 7.2; 7.3; 8.1; 8.2; 8.5; 8.9; 9.1-9.3; 10.1; 10.2; 11.2; 11.3; 12.1; 13.1; 14.1-14.6; 15.1-15.6; 16.1; 16.2; 17.2-17.4; 18.1-18.3; 19.1-19.3;	$n \rightarrow$ оптимум; Q $\rightarrow \max$; $C \rightarrow$ $\min$

* Q – продуктивність; C – сукупні витрати; K_o – однорідність змішування; dQ/dt – точність процесу; $P(d_i \leq d_1 \leq d_{i+1})$ – належність до фракції; P – тиск, K_n – однорідність подрібнення; L – видовження шнека; α – кут нахилу шнека; n – кількість віток конвеєра

Із врахуванням кодованих конструктивних ознак і елементів (гвинтових конвеєрів) по окремих типах та функціональними операціями, а також призначенням, із використанням методів синтезів ієрархічних груп згідно з морфологічним аналізом, генерується певна кількість їхніх варіантів, зокрема при:

- повздовжньому переміщенні

$$N_{IK1} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} +$$

$$+ \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \\ 16.3 \\ 16.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \\ 20.3 \end{vmatrix} = 48;$$

- змішуванні:

$$N_{IK2} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \\ 4.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} +$$

$$+ \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \\ 16.3 \\ 16.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \\ 20.3 \end{vmatrix} = 54;$$

- дозуванні:

$$N_{ГК3} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.2 \\ 2.2 \\ 2.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.1 \\ 3.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.1 \\ 4.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.1 \\ 6.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.1 \\ 7.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.2 \\ 9.2 \\ 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.1 \\ 10.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.1 \\ 11.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.1 \\ 12.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.1 \\ 13.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.1 \\ 17.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.1 \\ 18.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.3 \\ 19.3 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.1 \\ 20.1 \end{vmatrix} = 24;$$

- калібруванні або сепаруванні:

$$N_{ГК4} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.3 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.2 \\ 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \end{vmatrix} = 46;$$

- нагнітання, пресування або вичавлювання:

$$N_{ГК6} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.2 \\ 8.4 \\ 8.10 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.2 \\ 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.4 \\ 12.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \end{vmatrix} = 39;$$

- зміни довжин траси при перевантаженні:

$$\begin{aligned}
N_{ГК7} = & \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{vmatrix} + |2.1| + |3.1| + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + |6.2| + \begin{vmatrix} 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \end{vmatrix} + |9.2| + |10.2| + \begin{vmatrix} 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + |12.1| + |13.2| + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \\
& + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + |17.1| + |18.1| + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \end{vmatrix} = 42;
\end{aligned}$$

- подрібненні:

$$\begin{aligned}
N_{ГК8} = & \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{vmatrix} + |2.1| + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \\ 12.4 \\ 12.5 \end{vmatrix} + |13.1| + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \\
& + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{vmatrix} + |18.1| + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + |20.2| = 63;
\end{aligned}$$

- одночасно забір із різних місць, або одночасна подача по різних місцях:

$$\begin{aligned}
N_{ГК9} = & \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{vmatrix} + |2.1| + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \end{vmatrix} + |4.1| + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.2 \\ 7.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.5 \\ 8.9 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + |12.1| + |13.1| + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \\ 14.5 \\ 14.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \\ 15.4 \\ 15.5 \\ 15.6 \end{vmatrix} + \\
& + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \\ 17.3 \\ 17.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 18.1 \\ 18.2 \\ 18.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19.1 \\ 19.2 \\ 19.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 20.1 \\ 20.2 \end{vmatrix} = 54.
\end{aligned}$$

Класифікація гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантажень матеріалів

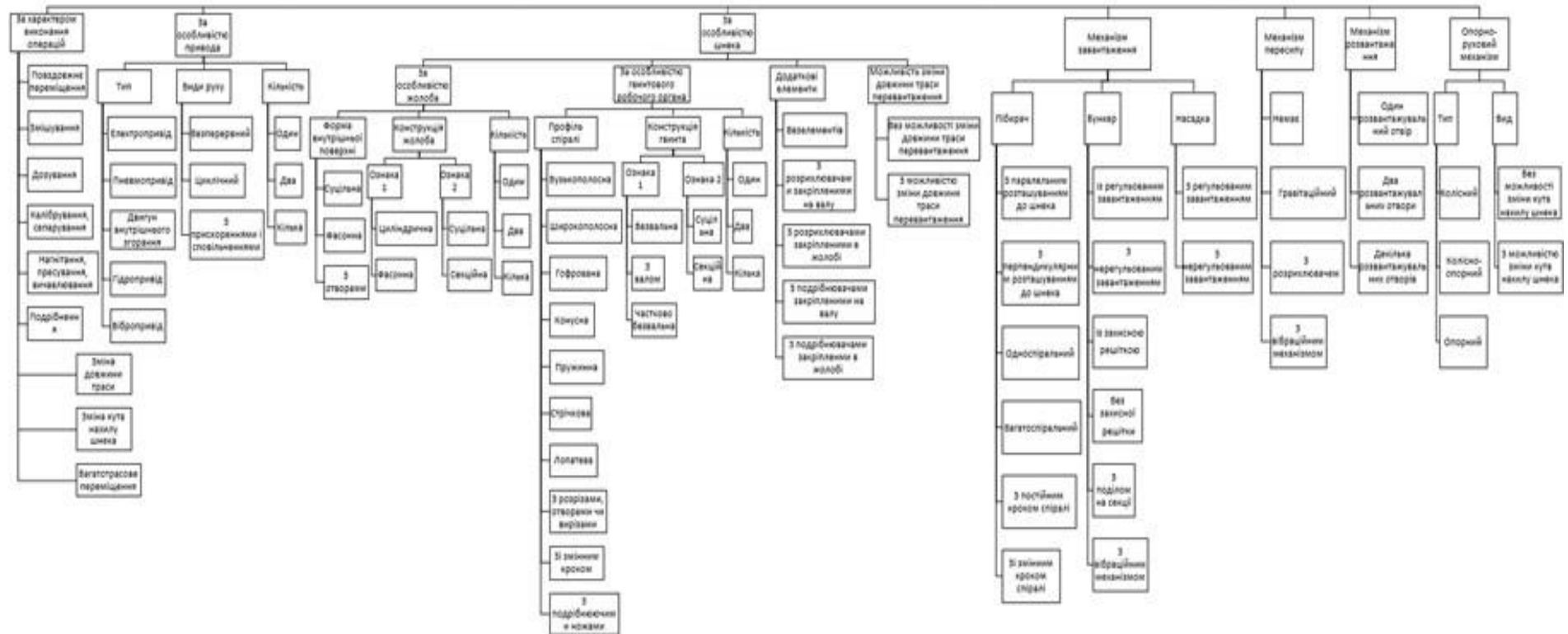


Рисунок 2.2 – Класифікація гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів за конструктивними ознаками

Згідно одержаних розрахунків доцільно відзначити, що кількість можливих конструкцій по окремих типах та функціональними операціями суттєво різняться. Відповідно, найбільшу кількість варіантів – 63, отримано для конвеєрів, здатних змінювати кут нахилу траси переміщення матеріалу, тоді як найменша кількість — 24 — відповідає конвеєрам, призначеним виключно при дозуванні. Таким чином, різниця між крайніми величинами становить 2,625 раза.

Встановлено, що здійснення окремих функціональних операцій та ознак за призначенням можуть бути об'єднані в одному конструктивному рішенні із утворенням багатофункціональних систем, здатних працювати ефективніше, зокрема, при поздовжньому транспортуванні, змішуванні та дозуванні, або зміні довжин трас у поєднанні із сепаруванням. Такі комбіновані конструкції вирізняються вищою універсальністю і мають значний потенціал практичного застосування.

На основі застосованого синтезу у роботі [6] здійснено розробку й проведено дослідження великої кількості робочих конструкцій гвинтових конвеєрів із конкретними функціональними операціями або їх комбінаціями. У порівнянні з традиційними гвинтовими транспортерами такі системи вирізняються багатофункціональністю, адаптивністю та ефективністю [15]. Узагальнена класифікація гвинтових конвеєрів із можливостями технологічних перетворень сільськогосподарських матеріалів та мобільних змін траєкторій перевантаження відображена рисунком 2.2.

2.2 Структурно-схемний синтез конструкцій секційних шнеків

Одна із ключових особливостей підвищення ефективностей функціонування підприємств де виробляється сільськогосподарська техніка, вважається системне вдосконалення наявних конструкцій та впровадження нових конкурентоспроможних виробів, здатних максимально відповідати зростаючим потребам аграрних виробників. У цьому контексті важливі секційні (телескопічні) шнеки (гвинтових конвеєрів), які забезпечують високу

гнучкість технологічних процесів і дозволяють адаптивно змінювати довжину транспортера в залежності від умов роботи. Такі конвеєри можуть застосовуватися як автономні засоби транспортування, так і як складові елементи у різних типах сільськогосподарських комплексів машин.

Практика експлуатації сільськогосподарських машин засвідчує, що для забезпечення безперешкодного завантаження зерна із бункерів комбайнів у кузови автомобілів шнеки комбайнів часто виготовляють значних довжин. Проте збільшення габаритів ускладнює маневрування машини, погіршує її транспортні характеристики та ускладнює конструкцію. При використанні телескопічних принципів дозволяє усунути ці недоліки, забезпечуючи варіативність довжини та компактність конструкції. Попри це, однією з найбільш складних технічних проблем залишається забезпечення сталого зазору між кожухом та гвинтовими спіралями в усіх секціях телескопів, оскільки саме цей параметр визначає ефективність переміщення сільськогосподарської продукції.

Для вирішення цієї задачі запропоновано конструктивні рішення (рис. 2.3), зокрема, у варіанті (рис. 2.3,а) праву секцію кожуха обладнано еластичним внутрішнім шаром, що при переміщенні секцій компенсує можливі відхилення та забезпечує стабільний зазор. У конструкції (рис. 2.3,б–г) – у правій секції передбачено розміщення повздовжнього розрізу та скручування у відповідності еластичному листу, забезпечуючи плавне пересування згідно лівої секції. А у варіантах (рис. 2.3,д–е) використано використання складених спіралей, верхня частина їх оснащена пружними матеріалами, що сприяє вирівнюванню зазорів та запобігає його появі навіть під час інтенсивного навантаження.

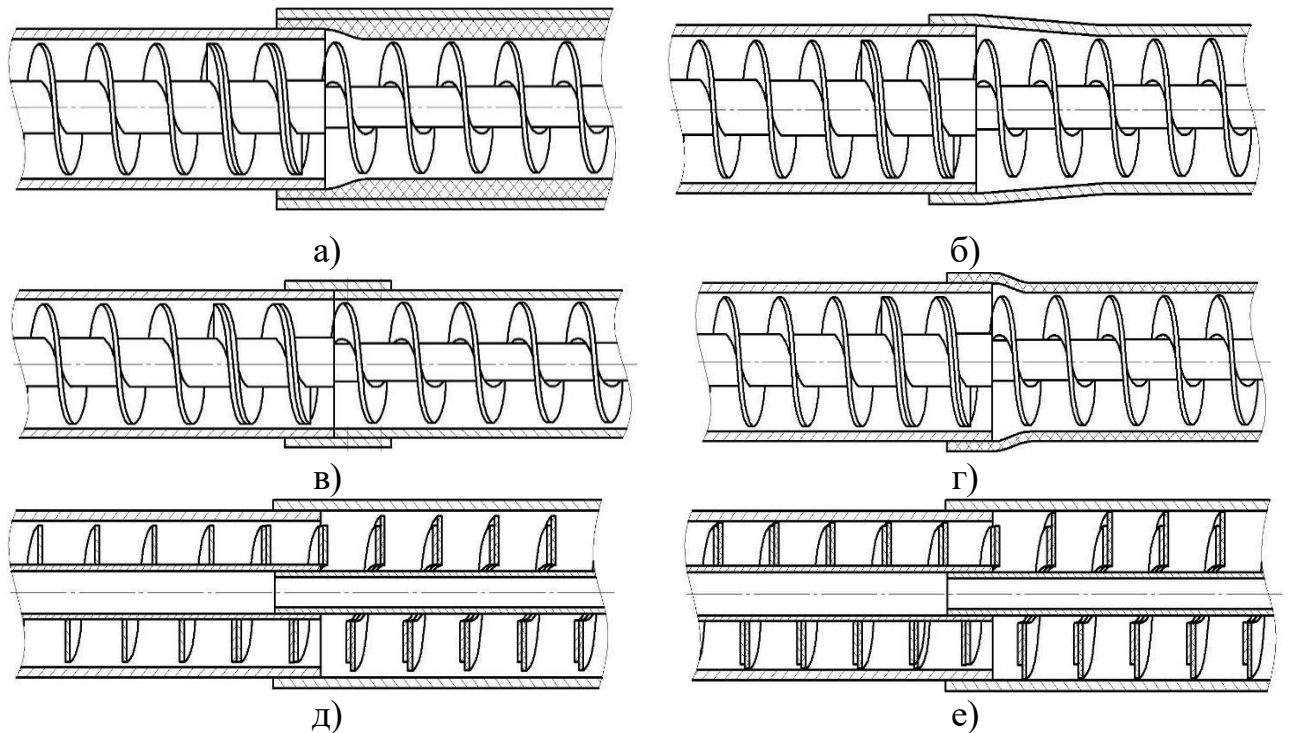


Рисунок 2.3 - Схеми конструктивних рішень виконання телескопічних шнеків: а – конструкції телескопічного шнека, права секція кожуха якого оснащена (по внутрішній поверхні) еластичним матеріалом; б, в, г – конструкції телескопічного шнека, права секція кожуха має повздовжній розріз і скручується у вигляді листа; д, е – конструкції телескопічного шнека, спіралі якого виконано складними, верхні частини яких оснащені еластичним матеріалом

На основі проведених аналізів по факторах, які впливають на процеси заборів сільськогосподарського матеріалу із насипу або бункера, із використанням методів структурно-схематичних синтезів з використанням морфологічних підходів здійснено формалізацію конструктивних ознак телескопічних гвинтових завантажувачів. Здійснено визначення обмеженого набору конструктивних елементів та зв'язків між ними, на основі чого здійснено формування морфологічної матриці (табл. 2.3). У ній представлено всі можливі альтернативи конструктивних рішень, згруповані за морфологічними ознаками.

Таблиця 2.3 – Морфологічна таблиця конструктивних ознак та елементів гвинтових конвеєрів

Привід			Гвинтовий робочий орган				Завантажувальний механізм		Механізм подачі до матеріалу						
1. Тип	2. Вид руху	3. Кількість	4. Профіль жолоба	5. Конструкція жолоба	6. Матеріали	7. Профіль спіралі	Гвинтовий робочий орган		Опорно-руховий механізм		12. Тип	Гвинтовий робочий орган			
							Жолоб	Конструкція гвинта	13. Подаючі елементи	14. Механізм подачі					
1.1. Електропривід	2.1. Безперервний	3.1. Один	4.1. Циліндричний	5.1. Суцільна	6.1. Сталь	7.1. Вузлова	8.1. Беззавальний	9.1. Суцільний	10.1. Сталь	11.1. Гравітаційний	12.1. Бункер	13.1. Колісно-рухомий	14.1. За рахунок відпруження	15.1. Храповий механізм	16.1. За рахунок вибрати
1.2. Пневмопривід	2.2. Циліндричний	3.2. Два	4.2. Фасонний	5.2. Секційна	6.2. Гума	7.2. Широкополосна	8.2. З ватом	9.2. Секційний	10.2. Пластик	11.2. Приму-совий	12.2. Насадка	13.2. Колісно-опорний	14.2. З використанням механічних засобів	15.2. Механічні засоби	16.2. За рахунок відпруження
1.3. Двигун	2.3. З прискореннями і сповільненнями	3.3. Три	4.3. Фасонний	5.3. Секційна	6.3. Оргскло	7.3. Гофрована	8.3. З ватом	9.3. Секційний	10.3. Гума	11.3. Роздільний	12.3. Завантажувальні лопати	13.3. Опорно-нерухо-мий	14.3. З використанням механічних засобів	15.3. Без механічних засобів	16.3. За рахунок вибрати
1.4. Гідропривід	2.4. Криво-привід	3.4. Чотири	4.4. Фасонний	5.4. Секційна	6.4. Пластик	7.4. Нахилена	8.4. З ватом	9.4. Секційний	10.4. Пластик	11.4. Роздільний	12.4. Підби-рач	13.4. Опорно-нерухо-мий	14.4. З використанням механічних засобів	15.4. Без механічних засобів	16.4. За рахунок вибрати
1.5. Вібропривід	2.5. Криво-привід	3.5. П'ять	4.5. Фасонний	5.5. Секційна	6.5. Пластик	7.5. Нахилена	8.5. З ватом	9.5. Секційний	10.5. Пластик	11.5. Роздільний	12.5. Підби-рач	13.5. Опорно-нерухо-мий	14.5. З використанням механічних засобів	15.5. Без механічних засобів	16.5. За рахунок вибрати

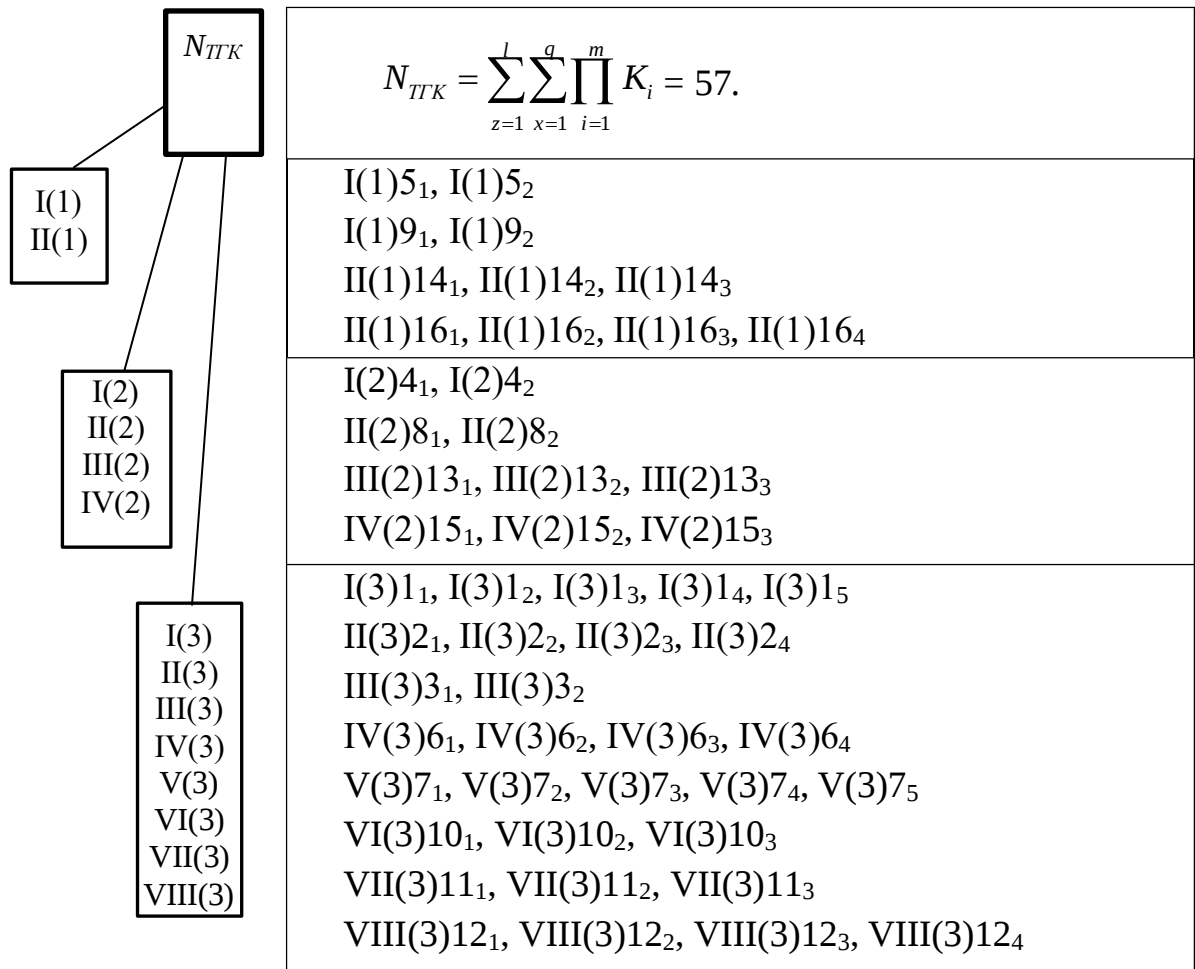


Рисунок 2.4 – Модель механічної системи «Конструктивні ознаки та елементи конструкцій телескопічних гвинтових конвеєрів»: (1) - (3) – ієрархічні рівні та I - VIII їх підгрупи

Кількості потенційних комбінацій конструктивних рішень у межах класичного морфологічного синтезу є надзвичайно великою, що практично унеможливорює їх експертне опрацювання методом прямого перебору.

$$N_{TKK} = \left| \begin{array}{c} 1.1 \ 2.1 \\ 1.2 \ 2.2 \ 3.1 \\ 1.3 \ 2.3 \ 3.2 \\ 1.4 \ 2.4 \\ 1.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 6.1 \\ 4.15.16.2 \\ 4.25.26.3 \\ 6.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \ 8.19.1 \\ 7.3 \ 8.29.2 \\ 7.4 \ 10.3 \\ 7.5 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 12.1 \\ 11.1 \ 12.2 \\ 11.2 \ 12.3 \\ 11.3 \ 12.4 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 13.114.1 \\ 13.214.2 \\ 13.314.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 16.1 \\ 15.1 \ 16.2 \\ 15.2 \ 16.3 \\ 15.3 \ 16.4 \end{array} \right| = 49766400.$$

Для зменшення множини альтернатив застосовано метод ієрархічного синтезу морфологічних груп [14].

$$N_{ТГК} = \begin{vmatrix} 5.1 & 9.1 \\ 5.2 & 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 & 16.1 \\ 14.2 & 16.2 \\ 14.3 & 16.3 \\ 14.4 & 16.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \\ 15.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ 7.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \\ 12.4 \end{vmatrix} = 57.$$

Використання цього методу дозволило скоротити кількість варіантів приблизно у 873 тис. разів порівняно із класичним морфологічним підходом, що забезпечило можливість оперативного відбору найбільш раціональних конструкцій телескопічних гвинтових конвеєрів (ТГК).

На основі результатів синтезів запропоновано низку прогресивних конструкцій ТГК. Зокрема:

- (рис. 2.5,а) — конвеєр, який під час забору матеріалу автоматично зміщується у напрямку насипу завдяки пружній деформації елементів;
- (рис. 2.5,б) — конструкція з колісно-рухомим механізмом, де передача із змієвидною пружиною та храповим механізмом забезпечує додаткове поступальне переміщення у сторону матеріалу;
- (рис. 2.5,в) — система, у якій розгортання секцій здійснюється завдяки вібраційному впливу та взаємодії храпового колеса із зубчастою рейкою;
- (рис. 2.5,г) — конструкція, де телескопічне видовження забезпечується енергією стисненої пружини;
- (рис. 2.5,д) — варіант із попереднім механічним видовженням гвинта на задану довжину;
- (рис. 2.5,е) — конструкція з використанням гнучкого матеріалу жолоба, що дозволяє підтримувати оптимальний зазор між шнеком і кожухом.

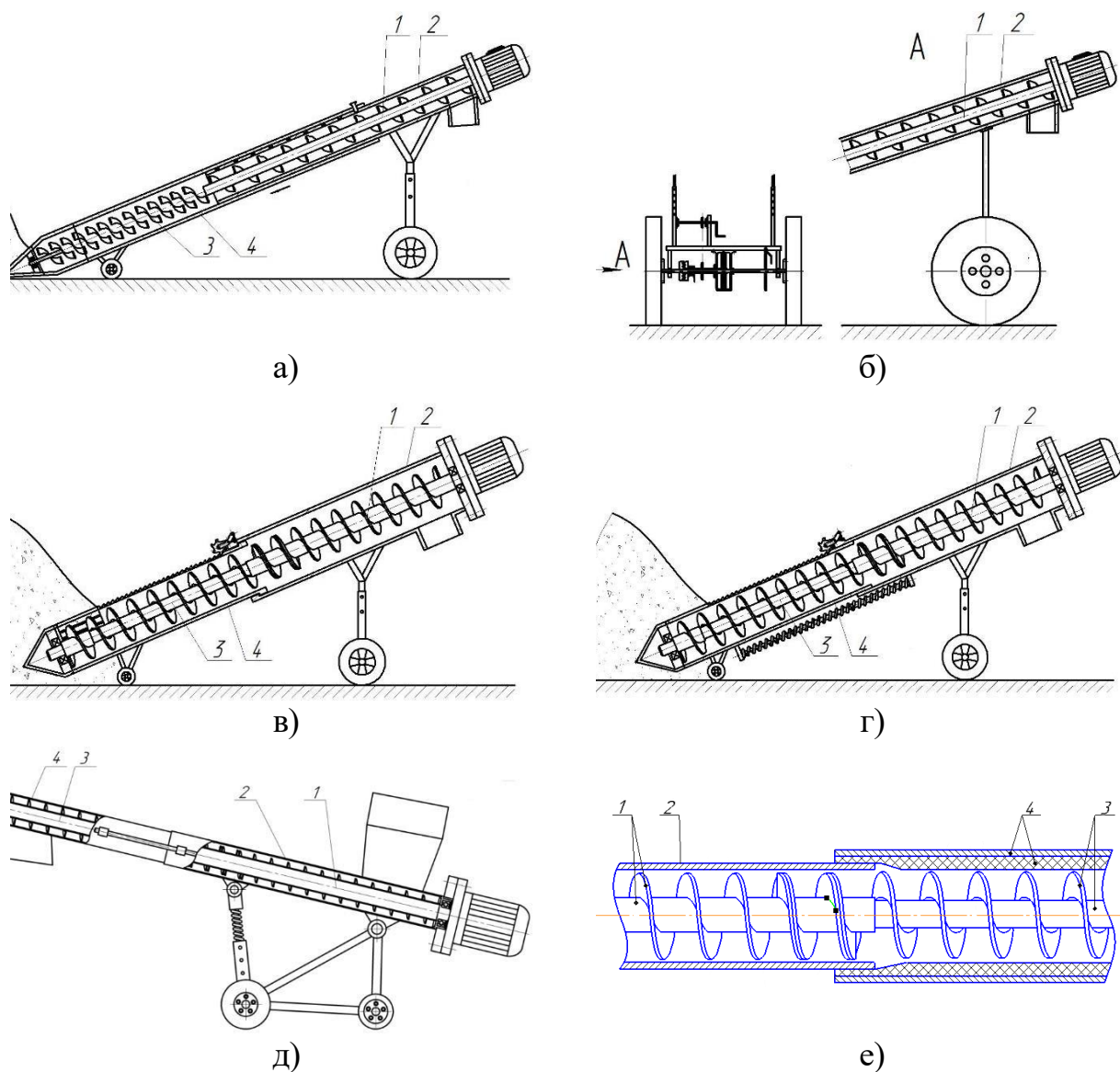


Рисунок 2.5 – Синтезовані конструкції телескопічних гвинтових конвеєрів згідно патентів України: 1 - нерухомий в осьовому напрямку шнек; 2 - нерухомий в осьовому напрямку кожух; 3 - рухомий в осьовому напрямку шнек; 4 - нерухомий в осьовому напрямку кожух;

а – д. п. України №103866; б – д. п. України №103181; в – д. п. України №108634; г – д. п. України №109877; д – д. п. України №12958; е – д. п. України №138006

Згідно оптимізованих технічних рішень запропонована експериментальна установка секційного гвинтового конвеєра (рис. 2.6).

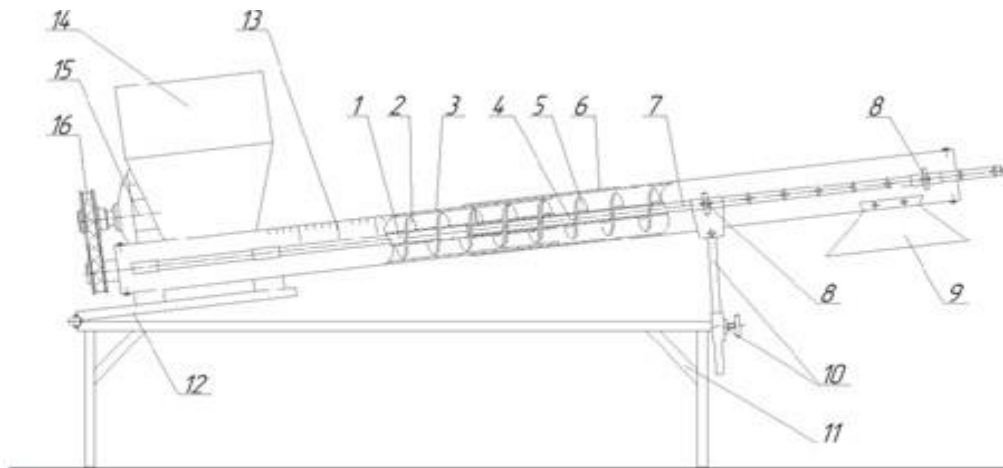


Рисунок 2.6 - Робоча установка секційного гвинтового конвеєра спроектовано за результатами синтезу: 1 - нерухома в осьовому напрямку секція гвинта; 2- шнек нерухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 3 - нерухома в осьовому напрямку частина кожуха; 4 - рухома в осьовому напрямку секція гвинта; 5 - шнек рухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 6 - рухома в осьовому напрямку частина кожуха; 7 - направляючі; 8 - фіксатори направляючих; 9 - вивантажувальний патрубок; 10 - опора регулювання висоти подачі матеріалу; 11 - рама; 12 - рухомий стіл; 13 - шкала перекривання шнеків; 14 - бункер; 15 - електропривід транспортера; 16 - пасова передача.

Її конструкція включає раму 11, рухомий стіл 12 з можливістю кругового повороту, механізм вертикального регулювання висоти подачі матеріалу 10, електропривід 15 та комбінацію рухомих і нерухомих секцій гвинта та кожуха. Особливістю даної конструкції є забезпечення можливості осьового переміщення рухомих секцій (4 і 6) відносно нерухомих (1 і 3), що дозволяє змінювати довжину траси транспортування матеріалу. Внутрішні та зовнішні діаметри труб і спіралей підібрані таким чином, щоб забезпечити колове обертання рухомої секції навколо нерухомої та можливість «вгвинчування» і «розгвинчування» шнеків, що визначає довжину конвеєра під час роботи.

Додаткове обладнання — такі як напрямні 7, фіксатори 8 та шкала перекривання шнеків 13 — забезпечують точність регулювання та контроль ефективності транспортування. Завантаження сипкого матеріалу здійснюється

через бункер, розташований у лівій частині кожуха, а вивантаження — через патрубок 9 у правій частині.

2.3 Структурно-схемний синтез конструкцій гвинтових змішувачів

Одна з ключових умов забезпечення високих конкурентоспроможних показників технічними засобами у сучасному сільськогосподарському машинобудуванні є їхні постійні конструктивні вдосконалення, спрямовані на підвищення таких показників, як: продуктивність, надійність і ефективність технологічних операцій. Серед різноманіття механічних систем, що застосовуються в аграрному виробництві та інших секторах економіки, особливого місця набуло використання гвинтових механізмів, які використовуються при транспортуванні, змішуванні, подрібненні, сортування, пресуванні та виконанні інших операцій.

У ряді випадків при здійсненні технологічних операцій, зокрема при змішуванні сільськогосподарських матеріалів, класичні гвинтові механізми не забезпечують необхідного рівня продуктивності та якості кінцевого продукту. Тому актуальним завданням є генерування та поглиблене дослідження нових, більш ефективних конструкцій гвинтових змішувачів [12, 18].

Структурно-схемний синтез та морфологічний аналіз гвинтових змішувачів

$$N_{ГКЗ} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \\ 6.5 \\ 6.6 \\ 6.7 \\ 6.8 \\ 6.9 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \\ 11.4 \\ 11.5 \\ 11.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 17.1 \\ 17.2 \end{vmatrix} = 42.$$

При транспортуванні гвинтовими конвеєрами часто виконуються операція змішування сільськогосподарської продукції — що є однією з ключових у процесах переробки агропродукції. При створенні прогресивної конструкції гвинтового конвеєра, який буде мати розширені технологічні можливості було застосовано методи морфологічних аналізів із синтезами ієрархічних груп [14]. Згідно із аналізом факторів, які мають вплив при здійсненні транспортно-змішувальних процесів, здійснено визначення комплексу конструктивних елементів і зв'язків між ними. Ці елементи дали змогу до формування загальної морфологічної таблиці ознак гвинтових змішувачів (табл. 2.4), з якої виділено дві окремі морфологічні моделі (рис. 2.8 – 2.9).

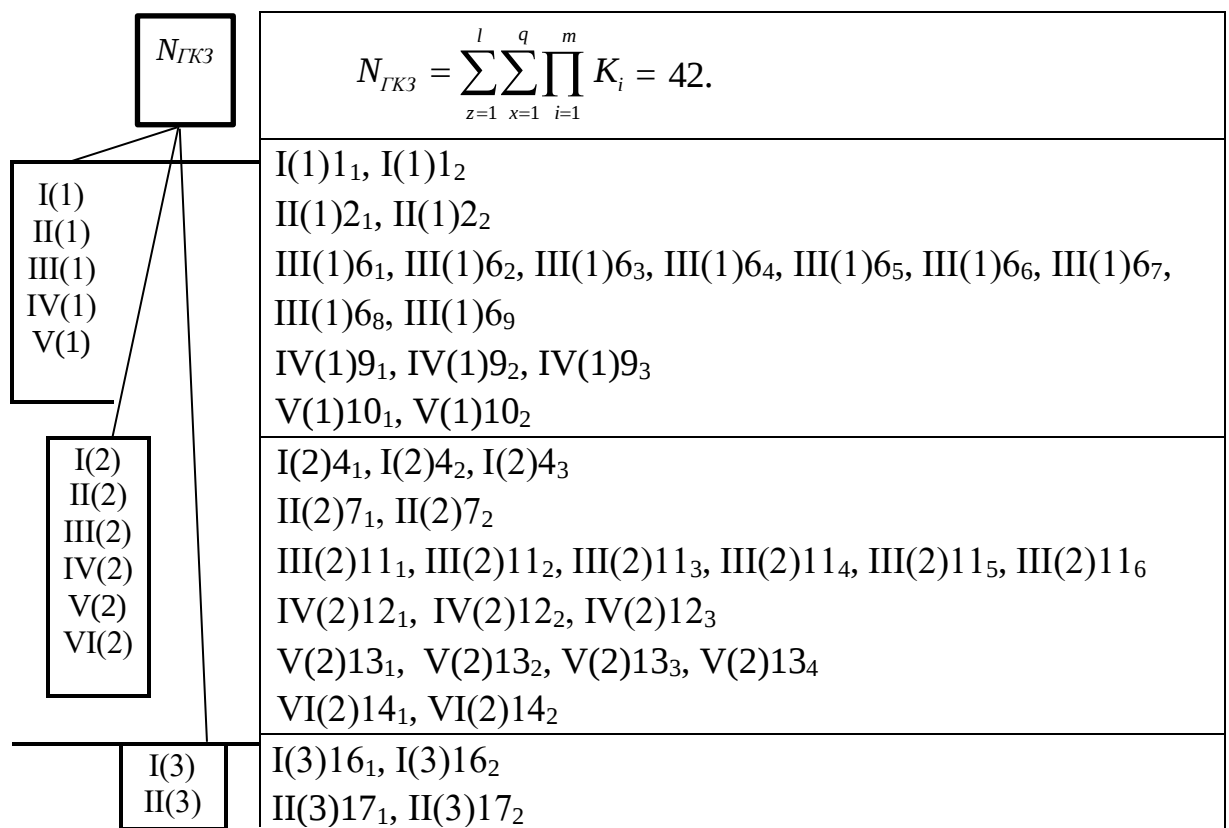


Рисунок 2.8 – Модель механічної системи «Гвинтовий конвеєр з операцією змішування»: (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні; I - VI – підгрупи ієрархічного рівня

Щодо першої моделі (рис. 2.8) - охоплює генерацію конструкцій гвинтових конвеєрів, у яких змішування відносять до супутньої функції під час транспортування сільськогосподарських матеріалів.

Відповідно, щодо другої моделі (рис. 2.9) відображає створення конструкцій гвинтових змішувачів, у яких змішування відноситься до основної операції, а переміщення сільськогосподарських матеріалів в просторі від місця завантаження до вивантаження не має визначального функціонального навантаження.

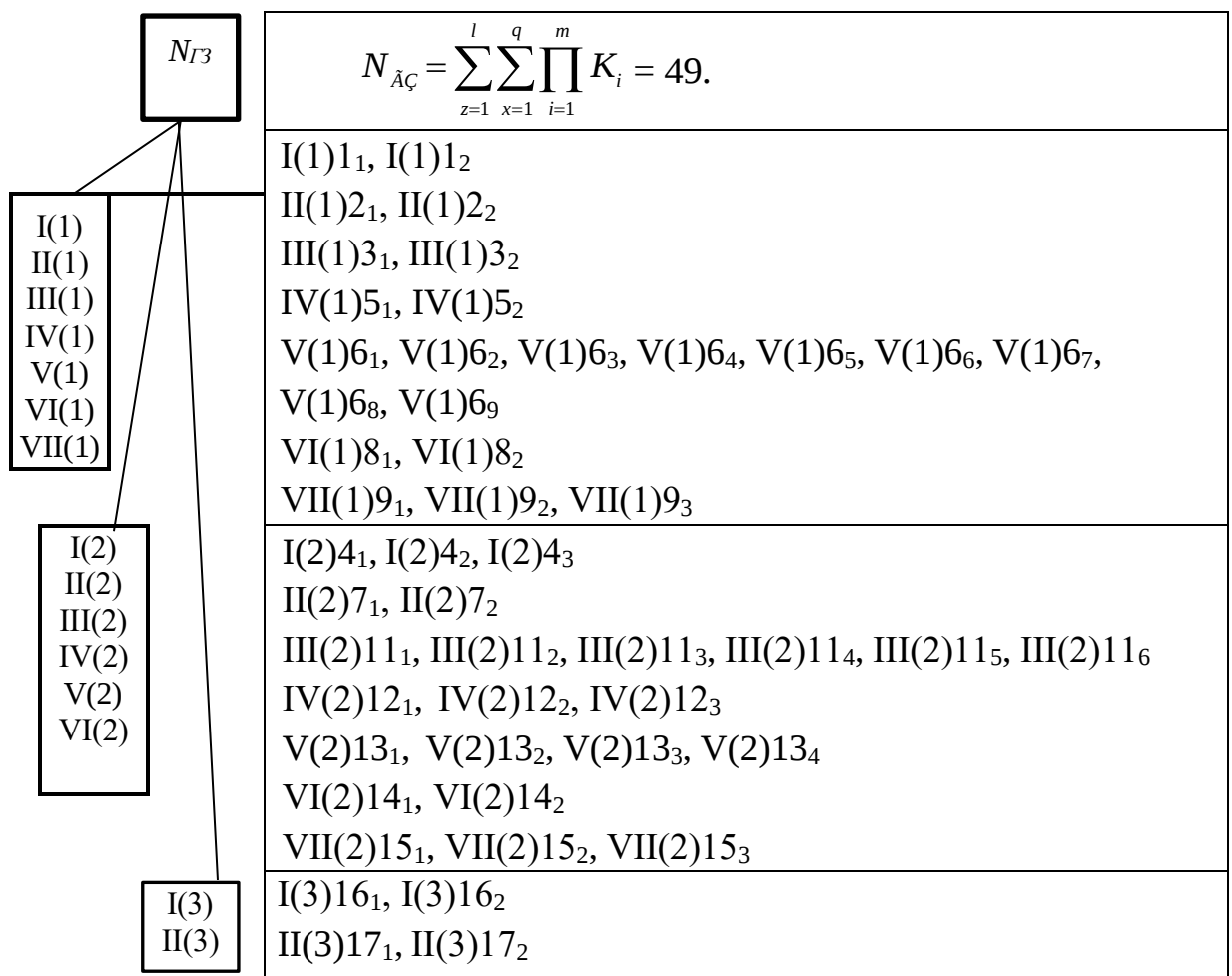


Рисунок 2.9 – Модель механічної системи «Гвинтовий змішувач»: (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні; I - VIII – підгрупи ієрархічного рівня

Згідно із структурно-схемним синтезом як основні морфологічні ознаки розглянуто:

- тип приводу;
- будову шнека (жолоб і гвинтовий робочий орган);
- тип бункера;
- тип механізму пересипання;
- тип механізму розвантаження;
- тип опорно-рухового механізму.

Застосування класичних морфологічних моделей [285] призвело б до утворення надмірно великої кількості варіантів конструкцій, що ускладнило б експертний відбір раціональних рішень, тому здійснено використання методу синтезів ієрархічних груп, яким передбачено поетапне групування та підгрупування конструктивних елементів [9], що суттєво скоротило кількість генерованих альтернатив.

$$N_{ГКЗ} = \left| \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 2.1 \\ 2.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \\ 6.5 \\ 6.6 \\ 6.7 \\ 6.8 \\ 6.9 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 10.1 \\ 10.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \\ 11.4 \\ 11.5 \\ 11.6 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 12.1 \\ 12.2 \\ 12.3 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 14.1 \\ 14.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 16.1 \\ 16.2 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 17.1 \\ 17.2 \end{array} \right| = 42.$$

Розрахунки показали, що загальна кількість конструктивних варіантів гвинтових конвеєрів зі змішувальною функцією та гвинтових змішувачів, отриманих за ієрархічним принципом, є відносно невеликою. Це уможливило проведення ефективної експертної оцінки та вибір найоптимальніших моделей. Відібрані експертами конструкції наведено:

- гвинтових конвеєрів зі змішуванням — на рис. 2.10;
- гвинтових змішувачів — на рис. 2.11.

Приклади згенерованих конструктивних рішень

За результатами синтезу отримано значну кількість працездатних технічних рішень.

На рис. 2.10,а подано гвинтовий конвеєр який містить вільно обертову конічну втулку та спіральні виступи, яка розташовується безпосередньо у бункері. Коли сільськогосподарський матеріал попадає, втулка самостійно обертається завдяки комбінованій дії сили тяжіння та відцентрової сили, забезпечуючи рівномірне подавання до забірної частини змішувача.

На рис. 2.10,б відображено конструкції зі шнеками змінних кроків.

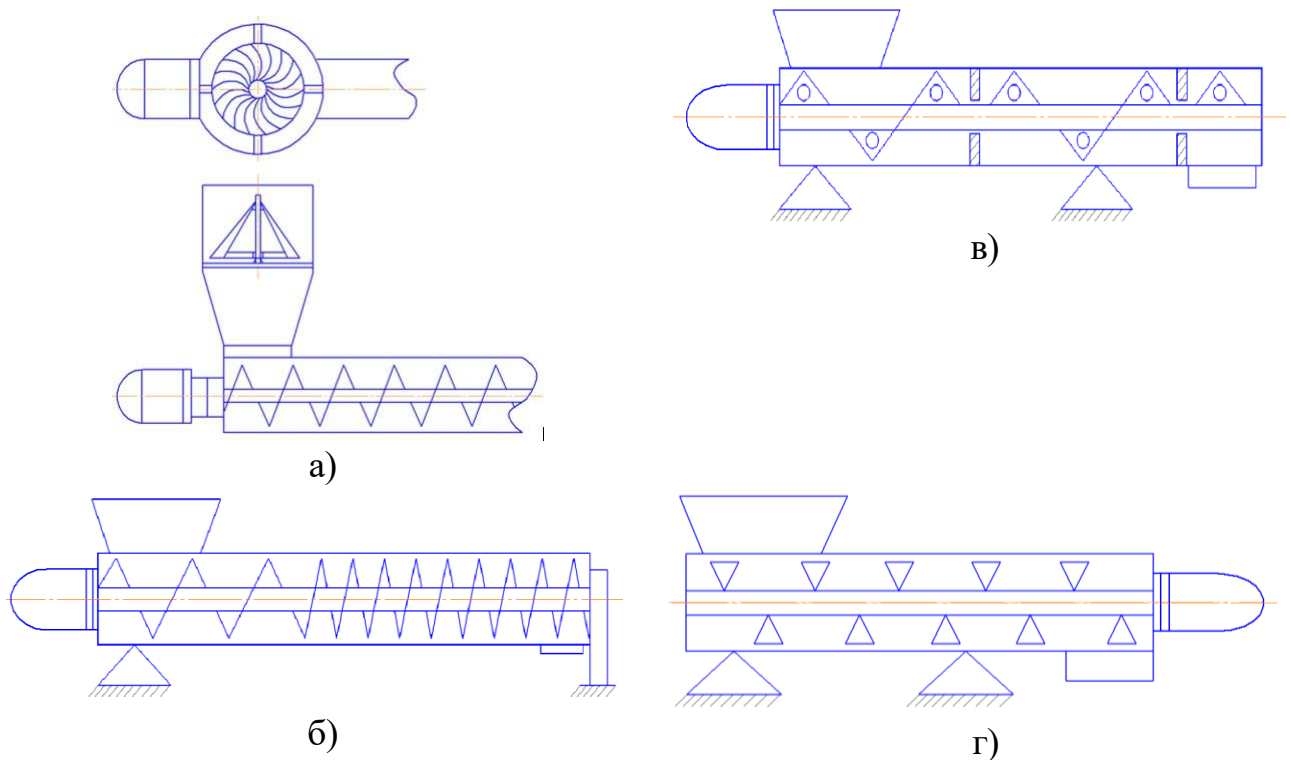


Рисунок 2.10 – Конструктивні рішення гвинтових конвеєрів з операцією змішування: а – конструкція гвинтового конвеєра з операцією змішування з вільно обертовою конічною втулкою зі спіральними виступами; б – конструктивна схема гвинтового конвеєра-змішувача з шнеком різного кроку; в, г – конструкції з шнеком з отворами і розпушувачами, закріпленими в жолобі, та зі спіраллю, виконаною у вигляді лопат.

У варіантах (рис. 2.10,в – 2.10,г) подано конструкції зі шнеками які містять отвори та розпушувачі, а також спіралі, виконані лопатевого типу.

Конструкції гвинтових змішувачів циклічного типу подано на рис. 2.11,а–б, де сільськогосподарські матеріали рухається по кільцевій траєкторії. У варіантах (рис. 2.11,в–д) реалізовано принцип центрифугування, що забезпечує інтенсивне перемішування за рахунок дії відцентрових сил.

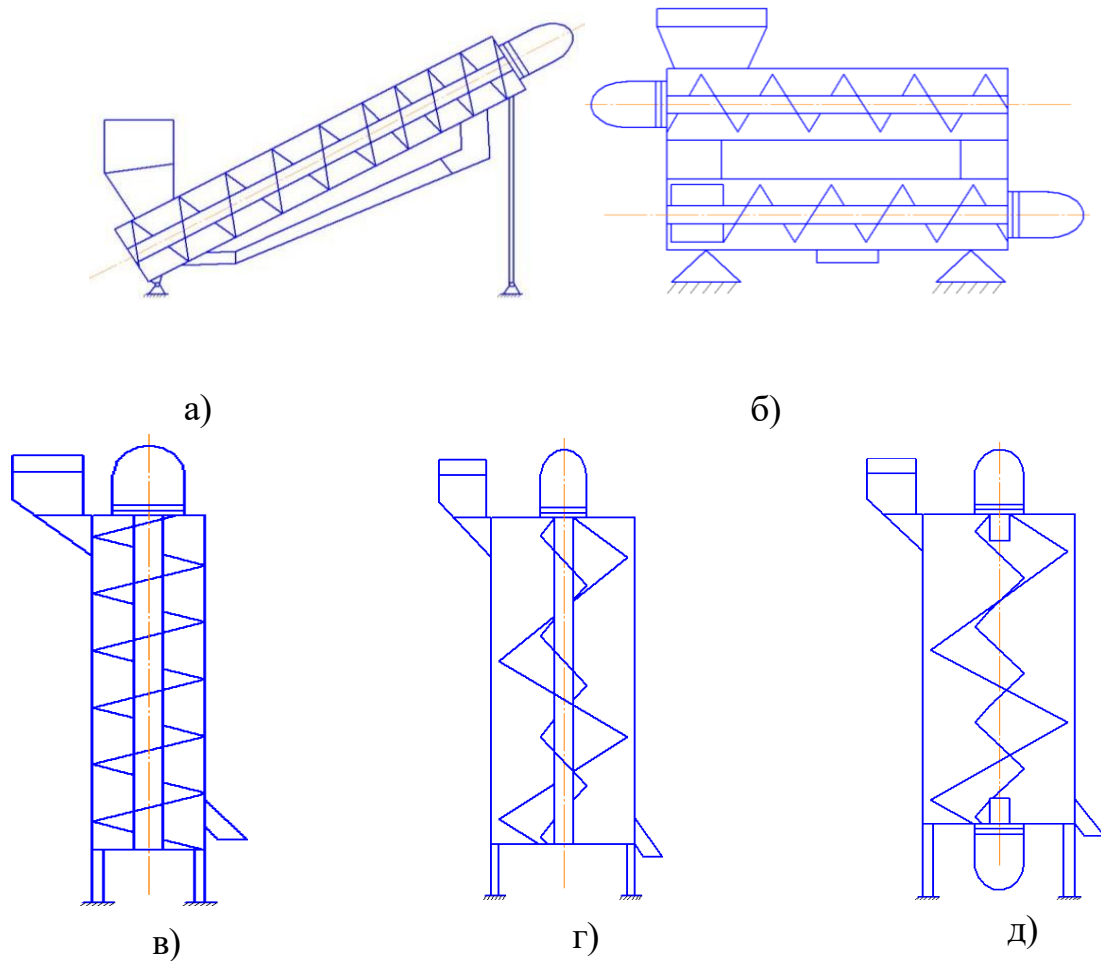


Рисунок 2.11 – Конструктивні рішення гвинтових змішувачів: а, б – конструктивні схеми гвинтових змішувачів циклічного типу, в яких матеріал рухається при змішуванні по колу; в, г, д – гвинтові змішувачі, в яких перемішування матеріалу проходить за принципом центрифугування

Узагальнюючи результати досліджень, можна стверджувати, що використання гвинтових змішувачів, на відміну гвинтовим конвеєрам зі змішувальною функцією, працюють за циклічним принципом, який забезпечує суттєво вищі показники по якості при змішуванні завдяки збільшеній тривалості перебування матеріалу в зоні активної взаємодії.

На основі проведеного синтезу здійснено розробку експериментальної установки при змішуванні та перевантаженні сільськогосподарських матеріалів із горизонтальної гілки на мобільну (рис. 2.12).

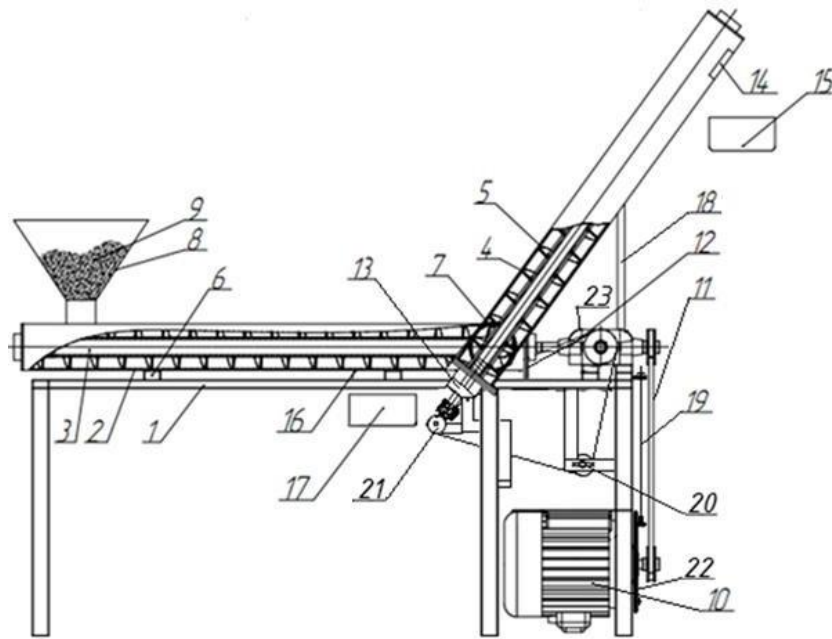


Рисунок 2.12 – Конструктивна схема станда для дослідження змішуванні і та перевантаження сільськогосподарських матеріалів з горизонтальної на мобільну вітку: 1 - рама; 2 - горизонтальний жолоб; 3 - гвинтовий робочий орган; 4 - мобільний жолоб; 5 - гвинтовий робочий орган; 6 - підставка; 7- поворотний патрубок; 8 - бункер; 9 - сипкий матеріал; 10 - привід; 11, 12 - пасові передачі; 13 - рухома опора; 14 - вивантажувальне вікно; 15- ємність; 16 - вихідне вікно; 17 - ємність; 18 - штанга; 19 – натяжний пристрій; 20 - натяжний ролик; 22- плита; 23 - редуктор

3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика проведення експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів при здійсненні транспортно-технологічних операцій

Програмою за якою здійснювались експериментальні дослідження передбачено такі послідовні етапи:

- проведення випробувань із визначення продуктивності перевантаження мобільними багатофункціональними гвинтовими транспортерами, з урахуванням впливу кута нахилу, частоти обертання шнеків та значення кроку гвинтового робочого органу;
- визначення величини крутного моменту на приводах шнеків за різних умов перевантаження сільськогосподарських матеріалів, із врахуванням кута нахилу, частоти обертання, висоти перевантаження та довжини видовження гвинтового робочого органу (ГРО);
- оцінювання витрат потужності приводів багатофункціональних гвинтових конвеєрів під час мобільного перевантаження вантажів, з урахуванням впливу геометричних і кінематичних параметрів ГРО;
- статистичне опрацювання експериментальних даних для визначення регресійних моделей та емпіричних залежностей, що адекватно описують досліджувані процеси.

Таблиця 3.1 – Умовна план-матриця експерименту типу ПФЕ 3³

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середні значення, У
									повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	1	2	3	$У_{\text{сер.}}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$У_{11}$	$У_{12}$	$У_{13}$	$У_{1c}$
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$У_{21}$	$У_{22}$	$У_{23}$	$У_{2c}$
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	$У_{31}$	$У_{32}$	$У_{33}$	$У_{3c}$
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$У_{41}$	$У_{42}$	$У_{43}$	$У_{4c}$
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$У_{51}$	$У_{52}$	$У_{53}$	$У_{5c}$

6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{101}	Y_{102}	Y_{103}	Y_{10c}
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{11c}
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{12c}
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_{131}	Y_{132}	Y_{133}	Y_{13c}
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{141}	Y_{142}	Y_{143}	Y_{14c}
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	Y_{151}	Y_{152}	Y_{153}	Y_{15c}
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	Y_{161}	Y_{162}	Y_{163}	Y_{16c}
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	Y_{171}	Y_{172}	Y_{173}	Y_{17c}
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	Y_{181}	Y_{182}	Y_{183}	Y_{18c}
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	Y_{191}	Y_{192}	Y_{193}	Y_{19c}
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	Y_{201}	Y_{202}	Y_{203}	Y_{20c}
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	Y_{21c}
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	Y_{221}	Y_{222}	Y_{123}	Y_{22c}
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	Y_{23c}
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	Y_{241}	Y_{242}	Y_{243}	Y_{24c}
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	Y_{251}	Y_{252}	Y_{253}	Y_{25c}
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	Y_{261}	Y_{262}	Y_{263}	Y_{26c}
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	Y_{271}	Y_{272}	Y_{273}	Y_{27c}

При цьому функцію відгуку (параметр оптимізації) приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратичного полінома, який описує реальний експериментальний процес:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2, \quad (3.1)$$

де Y - експериментальне значення результуючої ознаки; $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{23}, b_{11}, b_{33}$ - коефіцієнти регресії відповідних значень вхідних факторів; x_1, x_2, x_3 - вхідні кодовані фактори. Коефіцієнти апроксимуючого полінома за умови ортогональності та симетрії, визначали за відповідними загальними

формулами.

Коефіцієнти апроксимуючого полінома за умови ортогональності та симетрії, визначали за відповідними загальними формулами:

Вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактору:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (3.2)$$

Коефіцієнти факторів взаємодії b_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}, \quad (3.3)$$

Методика експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями та змінною траєкторією перевантаження передбачала застосування стандартного вимірювального інструментарію та спеціально сконструйованого стендового обладнання. До методичного комплексу входили: лабораторні ваги, мірні ємності, рулетки, лінійки, транспортири, персональний комп'ютер, частотний перетворювач серії Altivar для регулювання частоти обертання електродвигунів і вимірювання електричних навантажень за допомогою програмного забезпечення PowerSuite. Додатково застосовували спеціальні конструкції гвинтових робочих органів, комплект сит різного діаметра, а також розроблені запобіжні муфти.

Величину крутного моменту та витрат потужності на приводах мобільних гвинтових транспортерів визначали за допомогою частотного перетворювача Altivar та ПК, що забезпечувало оперативну реєстрацію навантажень і споживання електроенергії. Продуктивність гвинтових конвеєрів встановлювали шляхом зважування маси вантажу, переміщеного за фіксований проміжок часу. Ефективність сепарування оцінювали за

результатами детального аналізу фракцій після відсепарування, з визначенням частки очищеного матеріалу. Якість змішування визначали шляхом відбору проб суміші та вимірювання концентрації контрольного компонента в отриманих вибірках. Візуальні спостереження використовували для оцінювання перебігу транспортних і перетворювальних процесів.

Первинну обробку експериментальних даних здійснювали на основі загальновідомих методів математичної статистики, зокрема кореляційного та регресійного аналізу. Для одержання регресійних моделей та параметрів оптимізації застосовували плани повнофакторного експерименту, переходячи від реальних значень факторів до кодованих для їх нормування. На основі закодованих факторів формували план-матриці ПФЕ та узагальнені таблиці експериментальних результатів.

Статистичну обробку експериментальних масивів проводили із застосуванням програмного пакета «Statistica 6.0». Оцінку випадковості процесів здійснювали за стандартними методиками, визначаючи математичну дисперсію випадкових величин DDD. Для аналізу залежності цільового параметра оптимізації від зміни окремого вхідного фактора використовували прикладний пакет «MathCad 6.0». Апроксимацію експериментальних даних ламаними лініями виконували стандартними методами, визначаючи величину неузгодженості методом найменших квадратів.

$$\Theta = \sum_{i=1}^N \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^N (m_{i_e} - m_{i_m})^2, \quad (3.4)$$

Методика проведення випробувань з визначення продуктивності перевантаження сільськогосподарських вантажів гвинтовим завантажувачем з пересипом

Для підтвердження основних теоретичних викладок, які відносяться до встановлення закономірностей зміни продуктивності гвинтового завантажувача з пересипом (ГЗП) від частоти обертання шнека n , кута нахилу

вивантажувальної магістралі α та кроку витків шнека T , проведено лабораторні експериментальні дослідження. Визначали залежність продуктивності перевантаження сільськогосподарських вантажів ГЗП від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека n , кроку витків шнека T та кута нахилу вивантажувальної магістралі α , тобто $Q=f(n,T,\alpha)$. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.2. При побудові даної таблиці у якості входних змінних факторів ПФЕ 3³ прийнято:

- частоту обертання шнека n , яку кодували індексом x_1 ;
- крок витків шнека T , який кодували індексом x_2 ;
- кут нахилу транспортера α , який кодували індексом x_3 .

Таблиця 3.2 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні продуктивності перевантаження сільськогосподарських вантажів гвинтовим завантажувачем з пересипом

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання шнека	n , об/хв.	x_1	198,8	710 (+1)	511,2 (0)	312,4 (-1)
Крок витків шнека	T , м	x_2	0,025	0,14 (+1)	0,115 (0)	0,09 (-1)
Кут нахилу вивантажувальної магістралі	α , град.	x_3	15	60 (+1)	45 (0)	30 (-1)

Методика проведення експериментальних досліджень величини крутного моменту при перевантаженні сільськогосподарських вантажів мобільними гвинтовими транспортерами

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів (незалежних факторів x_i) телескопічного гвинтового конвеєра (ТГК) на крутний момент приводу шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму (параметр оптимізації T) проведено повнофакторні експерименти залежності, тобто визначення величини крутного моменту на

приводі шнека ТГК від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека $n_{ш}$, довжини видовження шнека l та кута нахилу транспортера γ , тобто $T=f(n_{ш}, l, \gamma)$.

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл.

3.3. При побудові даної таблиці у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3³ прийнято:

- частоту обертання шнека $n_{ш}$, яку кодували індексом x_1 ;
- довжину видовження шнека l , яку кодували індексом x_2 ;
- кут нахилу транспортера γ , який кодували індексом x_3 .

Таблиця 3.3 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера

Фактори	Позначення		Інтерв варіюв	Рівні варіювання, натур.(кодован і)		
	натур.	код.				
Частота обертання шнека	$n_{ш}$, об/хв.	x_1	200	700 (+1)	500 (0)	300 (- 1)
Довжина видовження шнека	l , м	x_2	0,14	1,61 (+1)	1,47 (0)	1,33 (- 1)
Кут нахилу транспортера	γ , град.	x_3	20	45 (+1)	25 (0)	5 (-1)

Проведення експериментальних досліджень величини крутного моменту приводу шнека ТГК при зміні частоти обертання шнека, довжини його видовження шнека та кута нахилу, та обробку експериментальних даних виконано згідно наведеної вище методики.

Для підтвердження основних теоретичних положень, які відносяться до встановлення закономірностей зміни крутного моменту на приводі гвинтового завантажувача з пересипом від частоти обертання шнека n , кута нахилу

вивантажувальної магістралі α та висоти транспортування H проведено лабораторні експериментальні дослідження, порядок виконання яких наведено вище. Визначено зміни крутного моменту на приводі гвинтового завантажувача з пересипом від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека n , кута нахилу вивантажувальної магістралі α та висоти транспортування H тобто

$$M=f(n,\alpha,H).$$

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.4. При побудові даної таблиці у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3³ прийнято:

- частоту обертання шнека n , яку кодували індексом x_1 ;
- кут нахилу транспортера α , який кодували індексом x_2 ;
- висота транспортування H , яку кодували індексом x_3 .

Таблиця 3.4 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту на приводі шнека гвинтового завантажувача з пересипом

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання шнека	n , об/хв.	x_1	198,8	710 (+1)	511,2 (0)	312,4 (-1)
Кут нахилу вивантажувальної магістралі	α , град.	x_2	15	60 (+1)	45 (0)	30 (-1)
Висота транспортування	H , м	x_3	15	2,5 (+1)	2,0 (0)	1,5 (-1)

Проведення експериментальних досліджень крутного моменту на приводі шнека ГЗП при зміні зазначених факторів, та обробку експериментальних даних виконано згідно наведеної вище методики.

Методика проведення експериментальних досліджень витрат потужності при перевантаженні сільськогосподарських вантажів мобільними гвинтовими транспортерами

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів (незалежних факторів x_i) ТГК на потужність приводу шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму (параметр оптимізації N) проведено повнофакторні експерименти, тобто визначення величини потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека $n_{ш}$, довжини видовження шнека l та кута нахилу транспортера γ , тобто $N=f(n_{ш}, l, \gamma)$. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.5. При побудові даної таблиці у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3³ прийнято:

- частоту обертання шнека $n_{ш}$, яку кодували індексом x_1 ;
- довжину видовження шнека l , яку кодували індексом x_2 ;
- кут нахилу транспортера γ , який кодували індексом x_3 .

Таблиця 3.5 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання шнека	$n_{ш}$, об/хв.	x_1	200	700 (+1)	500 (0)	300 (-1)
Довжина видовження шнека	l , м	x_2	0,14	1,61 (+1)	1,47 (0)	1,33 (-1)
Кут нахилу транспортера	γ , град.	x_3	20	45 (+1)	25 (0)	5 (-1)

3.2 Дослідна установка для здійснення досліджень

Експериментальні дослідження по визначенню таких показників як

продуктивність і енергетичні витрати гвинтових завантажувачів із пересипами (ГЗП), а також по встановленню їхніх функціонально-експлуатаційних параметрів, на основі розроблених технічних рішень було використано спеціалізовану дослідну установку. Застосування цієї установки дало змогу виконати комплекс випробувань у широкому діапазоні частот при обертанні шнеків та значень кутів нахилів вивантажувальної частини ГЗП з автоматизованою реєстрацією результатів (рис. 3.1).

У процесі дослідження характеристик по перевантаженню сипких сільськогосподарських матеріалів застосовувався комплекс спеціального оснащення, вимірювальних приладів та інструментів, що дали змогу фіксувати конструктивно-силові параметри гвинтового агрегату.

Дослідний стенд (рис. 3.2) містить жорстку раму 1, на якій закріплено горизонтальний жолоб 2 та гвинтовий робочий орган 3, мобільний жолоб 4 із робочим органом 5. Фіксування горизонтального жолобу 2 підставкою 6. Мобільний жолоб 4 може змінювати кут нахилу завдяки застосуванню штанги 20 і рухомих опор 13. У нижній частині мобільного жолоба розміщено пересипний поворотний патрубок 7, який забезпечує його просторове орієнтування відносно горизонтальної секції.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд стенда гвинтового завантажувача з пересипом

Завантаження матеріалу здійснюється через бункер 8, встановлений на виході горизонтального жолоба, з якого сільськогосподарські матеріали 9 надходять у зону дії шнека. Привід 10 через Т-подібний косозубий редуктор 25 (передаточне число 1:1) подає обертовий момент на центральний вал 3 і, далі, через конічний косозубий редуктор 23 (передаточне число 1:3) та пасові передачі 11 і 12 — на гвинтовий робочий орган мобільної секції 5. Для забезпечення стабільного натягу пасів передбачено встановлення гвинтового натяжного пристрою 21 і натяжного ролика 22. Застосування редуктора 23 дозволило збільшити частоту обертання шнека мобільної секції втричі, що є необхідним для безперебійного транспортування матеріалу та запобігання його зависанню в патрубках.

Верхня частина у мобільному жолобі 4 передбачає встановлення вивантажувального вікна 14, через яке матеріал надходить у приймальну частину ємності 15, а нижня частина горизонтальних жолобів 2 містить вихідне віконечко 16 із шибром, що використовується для прямого вимірювання продуктивностей горизонтальних секцій. Розміщення ємності 17 під вихідним вікном, для збору транспортованої продукції. Крок витків у горизонтальному шнеку збільшуються із напрямком руху сільськогосподарської продукції, що забезпечує рівномірний потік та стабільність транспортування.

На плиті 24 розташовується електродвигун 10, та керується за допомогою частотного перетворювача 18 у режимі автоматичного налаштування через програмне забезпечення PowerSuite (серія Altivar). Це надає можливість безступінчасто змінювати частоту обертання вала двигуна у широкому робочому діапазоні та здійснювати реєстрацію дослідних даних у вигляді таблиць і графічних залежностей у ПК (19).

Визначення продуктивності перевантаження в горизонтальній секції. Здійснюють відкриття шибера під ємністю 17, фіксуючи час роботи шнека та за результатами зважування транспортованої порції здійснюють визначення продуктивності. При визначенні сумарних продуктивностей по

горизонтальній та мобільній секціях здійснюють закриття шиберів, а сільськогосподарський матеріал спрямовується у вікно 14 та ємність 15.

Геометричні параметри робочих органів ГЗП, зокрема:

- внутрішнього діаметра патрубків — 100 мм;
- зовнішнього діаметра шнеків — 97 мм;
- внутрішнього діаметра шнеків — 37 мм;
- показник кроку гвинтів — 70 мм.

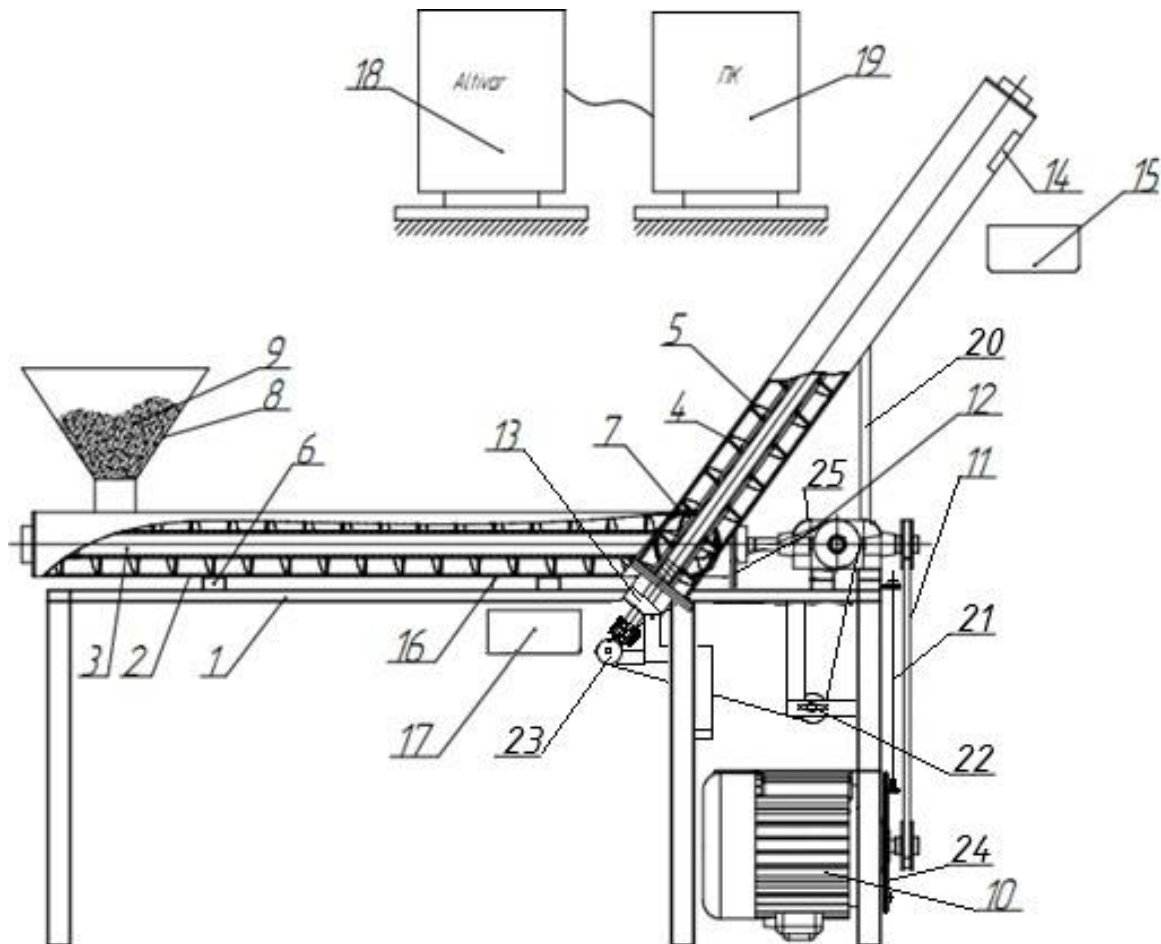


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема станда для дослідження змішуванні і та перевантаження сільськогосподарських матеріалів з горизонтальної на мобільну вітку: 1 - рама; 2 - горизонтальний жолоб; 3 - гвинтовий робочий орган; 4 - мобільний жолоб; 5 - гвинтовий робочий орган; 6 - підставка; 7- поворотний патрубок; 8 - бункер; 9 - сипкий матеріал; 10 - привід; 11, 12 - пасові передачі; 13 - рухома опора; 14 - вивантажувальне вікно; 15- ємність; 16 - вихідне вікно; 17 - ємність; 18 - частотний перетворювач; 19 - персональний комп'ютер; 20 - штанга; 21 - натяжний пристрій; 22- натяжний ролик

Якісні показники при змішуванні проводили у горизонтальній секції, використовуючи гвинтові робочі органи різних типів. Спочатку завантажувався бункер, звідки через шибер біля ємності 17, де відбиралися контрольні проби. Для визначення концентрації компонентів застосовували комплект штампованих сит, що містили різні діаметри отворів та лабораторну вагу. Проби суміші просіювали, після чого визначали масу кожного компонента з метою оцінювання ступеня однорідності.

Розроблений стенд дозволяє:

- досліджувати вплив частоти обертання та просторового положення гвинтового робочого органу на продуктивність ГЗП;
- аналізувати процес пересипу між двома шнеками та його залежність від кінематичних і конструктивних параметрів;
- визначати енергетичні витрати та навантажувальні характеристики приводу;
- оцінювати якість змішування багатокомпонентних сипких матеріалів;
- моделювати робочі режими з різними умовами транспортування, включаючи реверс, динамічні навантаження та пускові режими.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Дослідження процесів викочування-закочування рухомої частини шнека в секційному гвинтовому транспортері

Згідно програми експериментальних досліджень було проведено дослідження процесів викочування (вигвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека з нерухомої та заковчування (вгвинчування) рухомої частини шнека в нерухому в телескопічному гвинтовому транспортері. Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 4.1 – 4.4

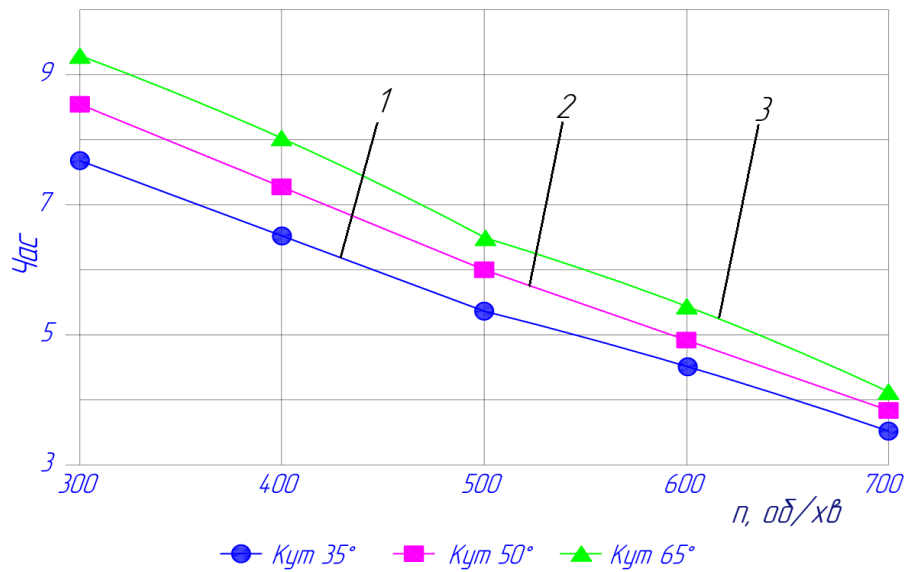


Рисунок 4.1 – Залежність часу викочування шнека від частоти його обертання при куті нахилу вітки: 1 - $\alpha = 35^\circ$; 2 - $\alpha = 50^\circ$; 3 - $\alpha = 65^\circ$

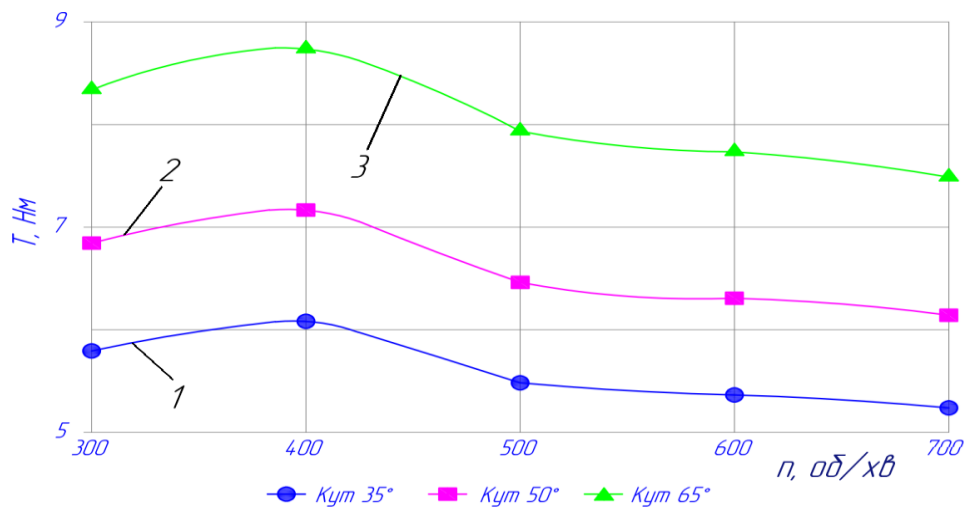


Рисунок 4.2 – Залежність величини крутного моменту при викочуванні шнека від частоти його обертання при куту нахилу вітки: 1 - $\alpha = 35^\circ$; 2 - $\alpha = 50^\circ$; 3 - $\alpha = 65^\circ$

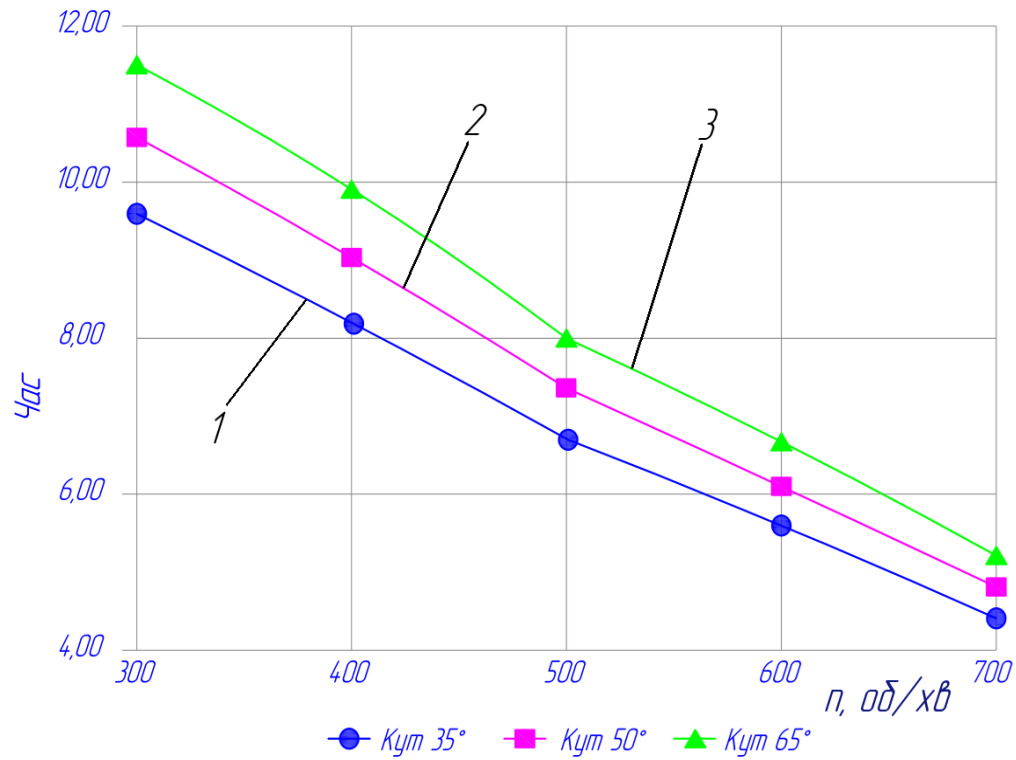


Рисунок 4.3 – Залежність часу закручування шнека від частоти його обертання при куту нахилу вітки: 1 – $\alpha = 35^\circ$; 2 – $\alpha = 50^\circ$; 3 – $\alpha = 65^\circ$

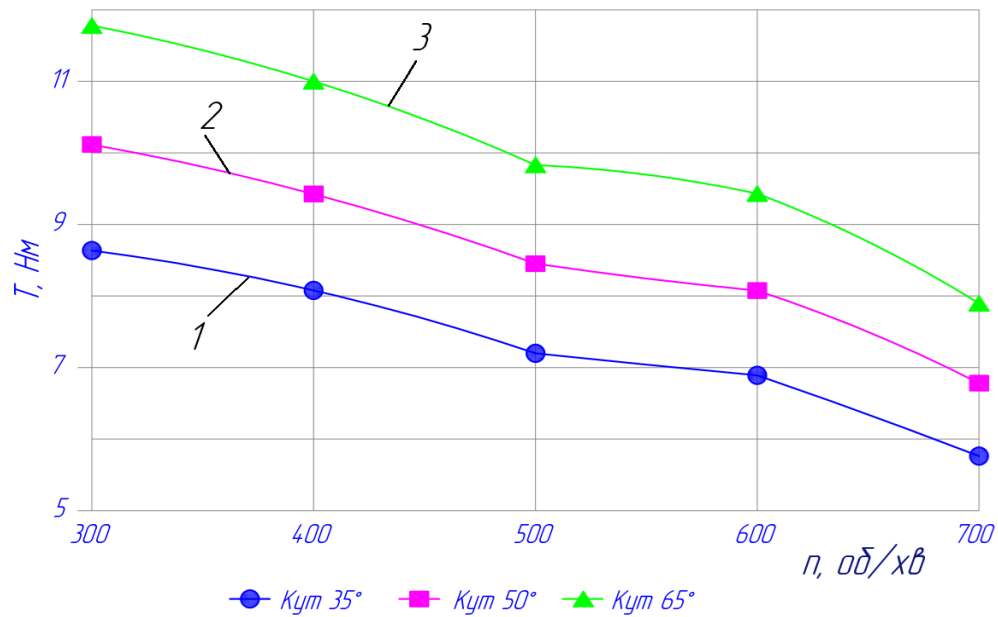


Рисунок 4.4 – Залежність величин крутного моменту при закручуванні шнека від частоти його обертання при куту нахилу вітки: 1 – $\alpha = 35^\circ$; 2 – $\alpha = 50^\circ$; 3 – $\alpha = 65^\circ$

З допомогою виготовленого стенду досліджено вплив різноманітних факторів на ефективність роботи телескопічних гвинтових конвеєрів. Зокрема дослідження процесу викочування (вигвинчування) рухомої в осьовому

напрямку частини шнека з нерухомої (рис. 4.1 і 4.3) показало, що час викочування чи закочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека значно залежить від частоти його обертання, а кут нахилу вітки при цьому має незначний вплив на даний процес. Графічні залежності величин крутного моменту при викочуванні шнека від частоти його обертання при куту нахилу вітки показують (рис. 4.2 і 4.4), що на даний параметр впливає як початковий момент зрушування спіралі і кожуха при зміщенні, так і неточності в їх виготовленні.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в ТГК є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних його секціях, що значно впливає на час викочування та закочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека в нерухому.

Скріншоти показів Altivar показано на рисунку 4.5:

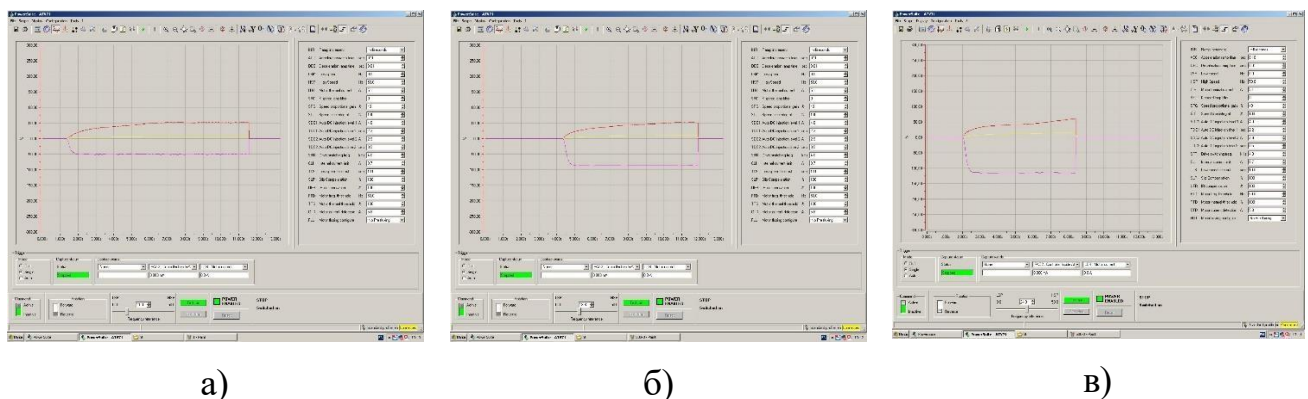


Рисунок 4.5 - Скріншоти показів Altivar при різних частотах обертання:

а) 300 об/хв; б) 500 об/хв; в) 700 об/хв.

4.2. Результати по визначенню продуктивності

Згідно програми експериментальних досліджень проведено дослідження продуктивності перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером. Результати експериментів з продуктивності перевантаження кукурудзи при різній частоті обертання шнека ТКГ представлено на рисунку 4.6

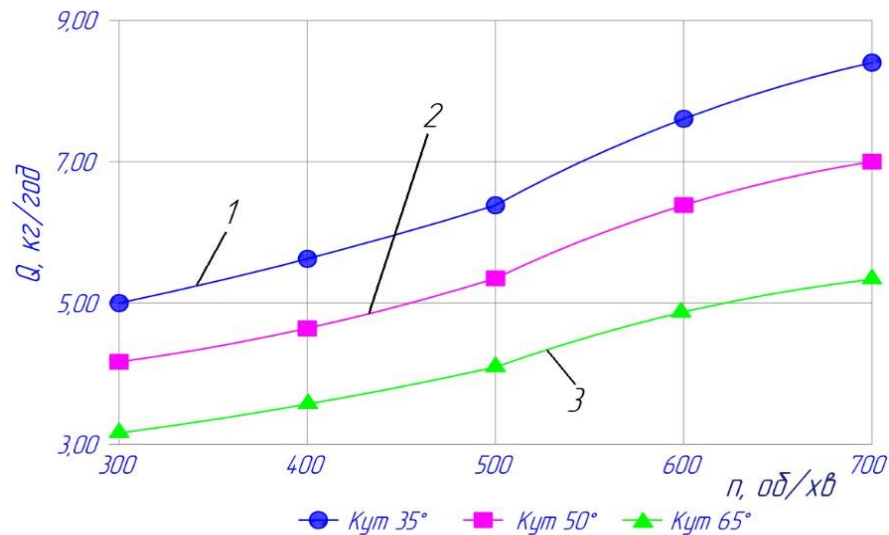


Рисунок 4.6 – Залежність продуктивності перевантаження кукурудзи від частоти обертання шнека при куту нахилу вітки: 1 - $\alpha = 35^\circ$; 2 - $\alpha = 50^\circ$; 3 - $\alpha = 65^\circ$

Як видно з рисунку, продуктивність перевантаження ТКГ зростає прямопропорційно до зростання частоти обертання шнека і в меншій мірі залежить від кута його нахилу. Також встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів ТКГ не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними ГК.

Для визначення впливу основних конструктивних параметрів гвинтового завантажувача з пересипом на продуктивність використовувалось програмне забезпечення для ПК, за допомогою якого побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двовірних перерізів продуктивності Q , як функцію від двох змінних факторів $x_{i(1,2)}$ за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора $x_{i(3)} = const$.

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення продуктивності є: фактори x_1 , x_2 , (n , T) та комбінації цих факторів. Збільшення величини фактора x_3 (α) призводить до зниження продуктивності. В загальному для збільшення продуктивності необхідно збільшувати величину частоти обертання робочого органу, вибирати оптимальний крок витків шнека та зменшувати кут нахилу

транспортера.

Згідно отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відгуку та двомірні їх перерізи продуктивності від зміни двох факторів для $x = const$. Графічні значення результатів залежності продуктивності з використанням «Mathcad Professional» наведено на рис. 4.7-4.9.

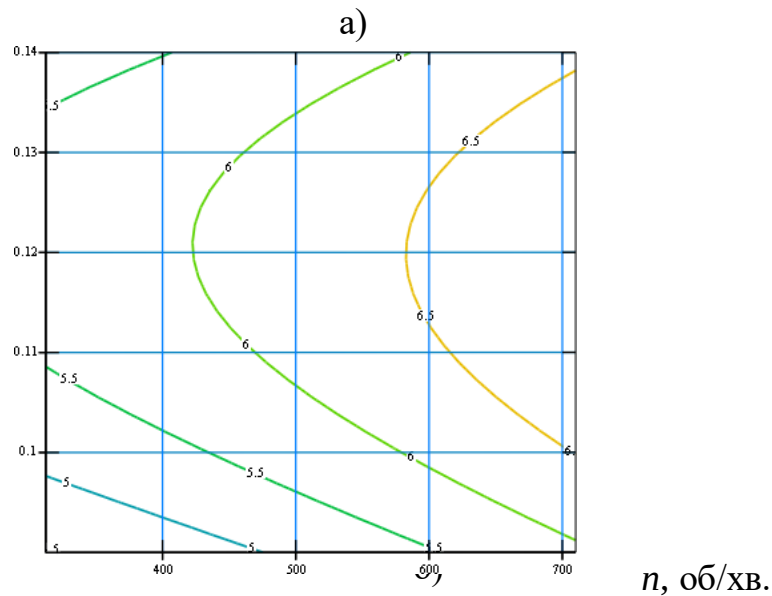
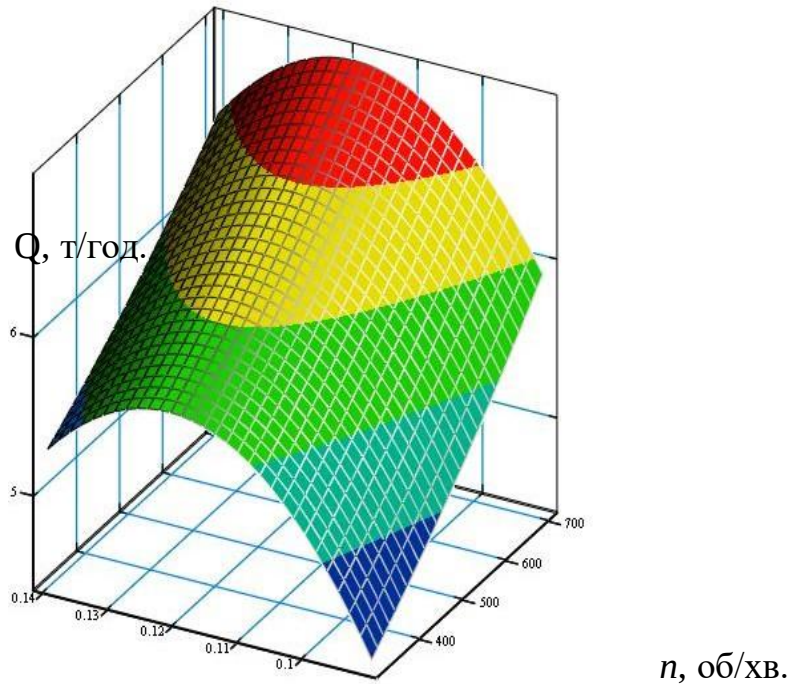


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку (а) та її двомірний переріз (б) залежності продуктивності транспортера $Q_{(n,T)}$ під час транспортування багатокомпонентної кормової суміші від частоти обертання шнека n та кроку витків шнека T ($\alpha=45$ град.)

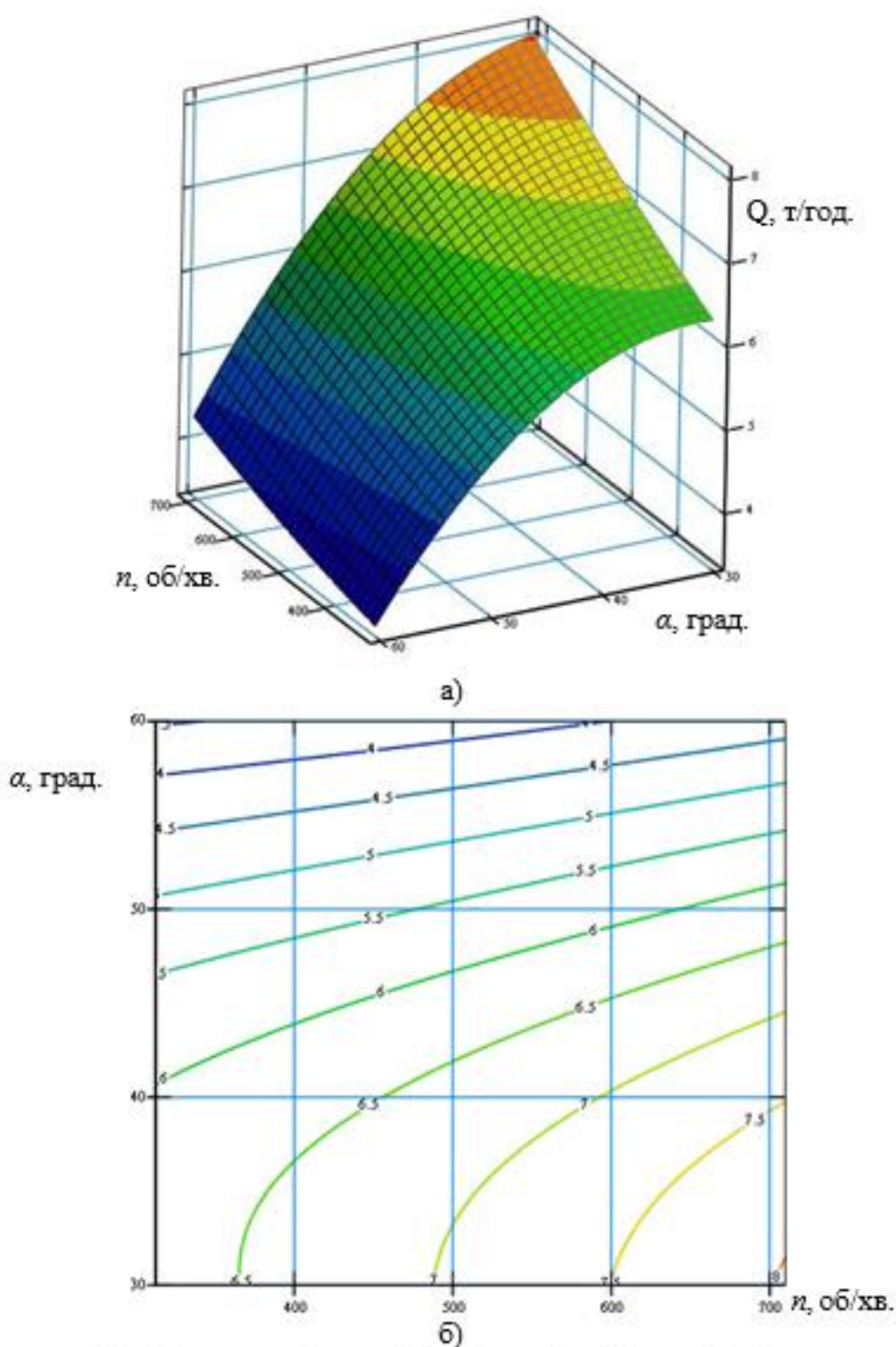


Рисунок 4.8 - Поверхня відгуку (а) та її двовірний переріз (б) залежності продуктивності транспортера $Q_{(n,\alpha)}$ під час транспортування багатокомпонентної кормової суміші від частоти обертання шнека n та кута нахилу вивантажувальної магістралі α ($T = 0,115$ м)

Збільшення кута нахилу транспортера призводить до зниження продуктивності.

Максимальна значення продуктивності під час транспортування

багатокомпонентної кормової суміші ГЗП складало 7,7 т/год. При цьому мінімальне значення складає 2,64 т/год. при мінімальній частоті обертання робочого органу і мінімальному кроку витків.

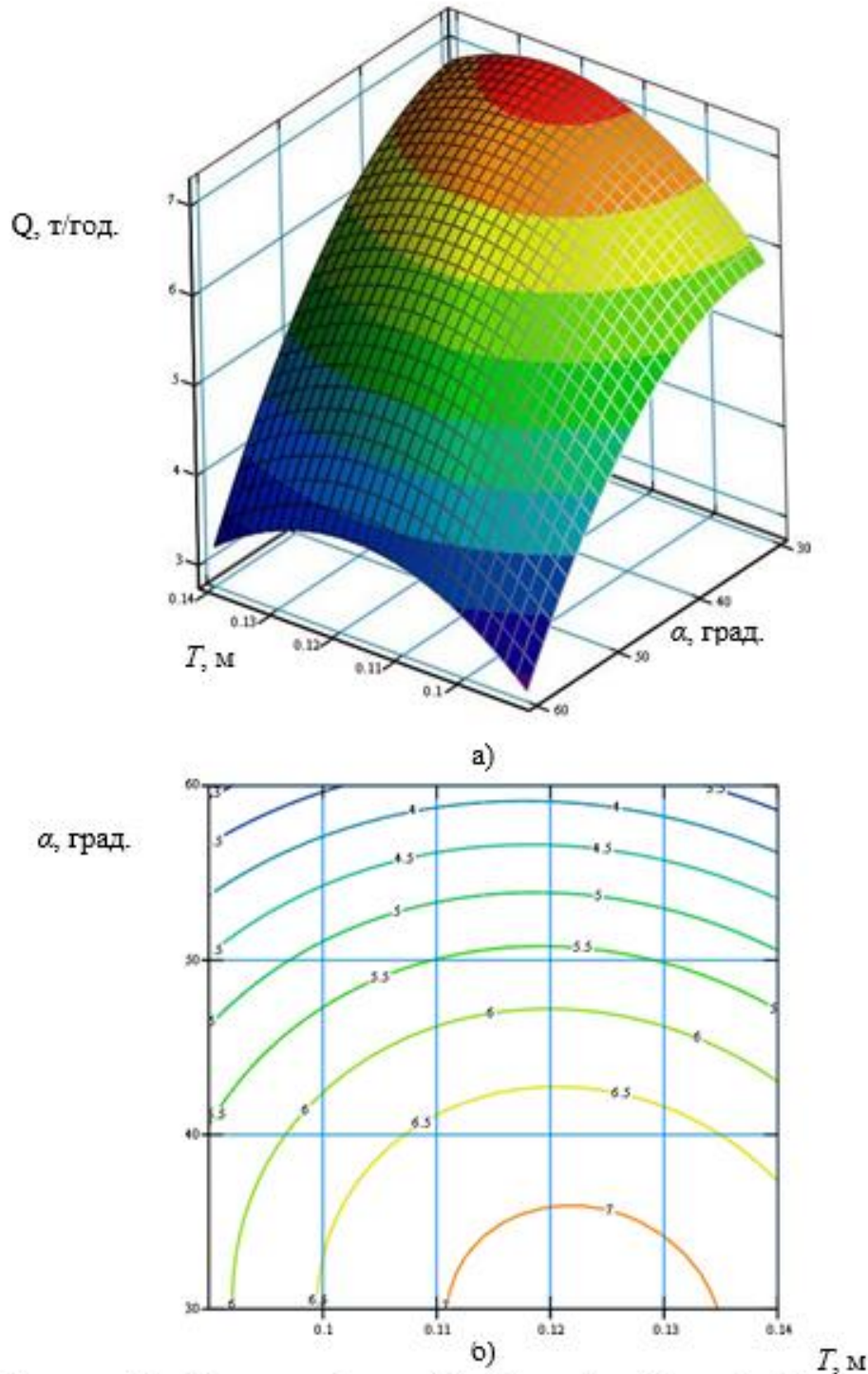


Рисунок 4.9 – Поверхня відгуку (а) та її двомірний переріз (б) залежності продуктивності транспортера $Q_{(T,\alpha)}$ під час транспортування багатокомпонентної кормової суміші від кроку витків шнека T та кута нахилу вивантажувальної магістралі α ($n = 511,2$ об/хв.)

З рисунків 4.7 – 4.9 видно, що із збільшенням частоти обертання гвинтового робочого органу величина продуктивності зростає, при цьому збільшення кроку витків до 0,12 м також призводить до зростання продуктивності. При використанні кроку витків ГРО величиною більше 0,12 м спостерігалось зниження продуктивності, що пояснюється зростання кількості матеріалу, що не переміщується, або зміщується в зворотному напрямку за рахунок сили ваги. Тобто оптимальним є крок витків шнека 0,12 м.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

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 розрізняти поняття “нешасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нешасний 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 безпеки виробничого обладнання

або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;

- спонукають працюючого допускати помилок 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).

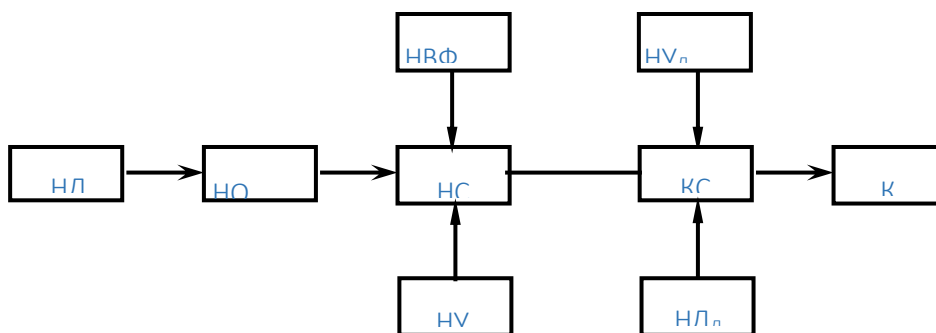


Рисунок 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій: НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини; НС-небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична

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 ділянки (бригади, майстерні, ферми тощо). До санітарно-технічного паспорта ділянки 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_v – виміряне значення фактора умов праці; A_n – нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за гранично допустимим значенням нормативного параметра A_n ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_n . 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.

Таблиця 5.1 -Карта умов праці

№ фак- Тора	Фактори умов праці	Нормативне		Фактич- не	Коеф. Нормо	Час факт	Коеф.		К
		ГДК, ГЛР	Нормативний значен				Тдф	Кдф	
1	2	3	4	5	6	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)	1.13	8	1	1.13	0.14
2	Вологість повітря, %	40-60	ГОСТ	25 - 30	1.25	8	1	1.25	0.16
3	Швидкість руху повітря, м/с	0,3	12.1.005-88	50	0.7	8	1	0.7	0.088
4	Виробничий шум, дБ	80	ГОСТ	0,2	1.03	4	0.5	0.515	0.064
5	Вібрація загальна, дБа	99	12.1.005-88	80 - 82	0.95	4	0.5	0.475	0.059
6	Освітлення:		ГОСТ	95					
6.1	природне, %	70	12.1.005-88		1.07	8	1	1.07	0.134
6.2	штучне, Лк	95	ГОСТ	75	1.01	8	1	1.01	0.126
7	Пил, мЛг/м³		12.1.003-86	96					
7.1	зерновий	3-4	ГОСТ		1	6	0.75	0.75	0.094
8	Робота стояча, %	30	12.1.012-78	3	1.16	6	0.75	0.87	0.109
				35					
			СНиП 2-4-						
			79/85						
			СНиП 2-4-						
			79/85						
			ГОСТ						

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).

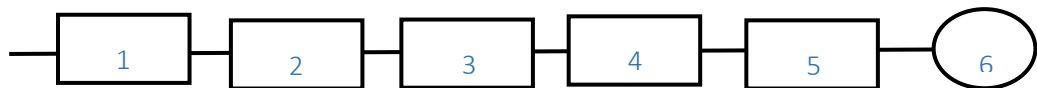


Рисунок 5.2 - Схема побудови логіко-імітаційних моделей:

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:

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

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

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

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

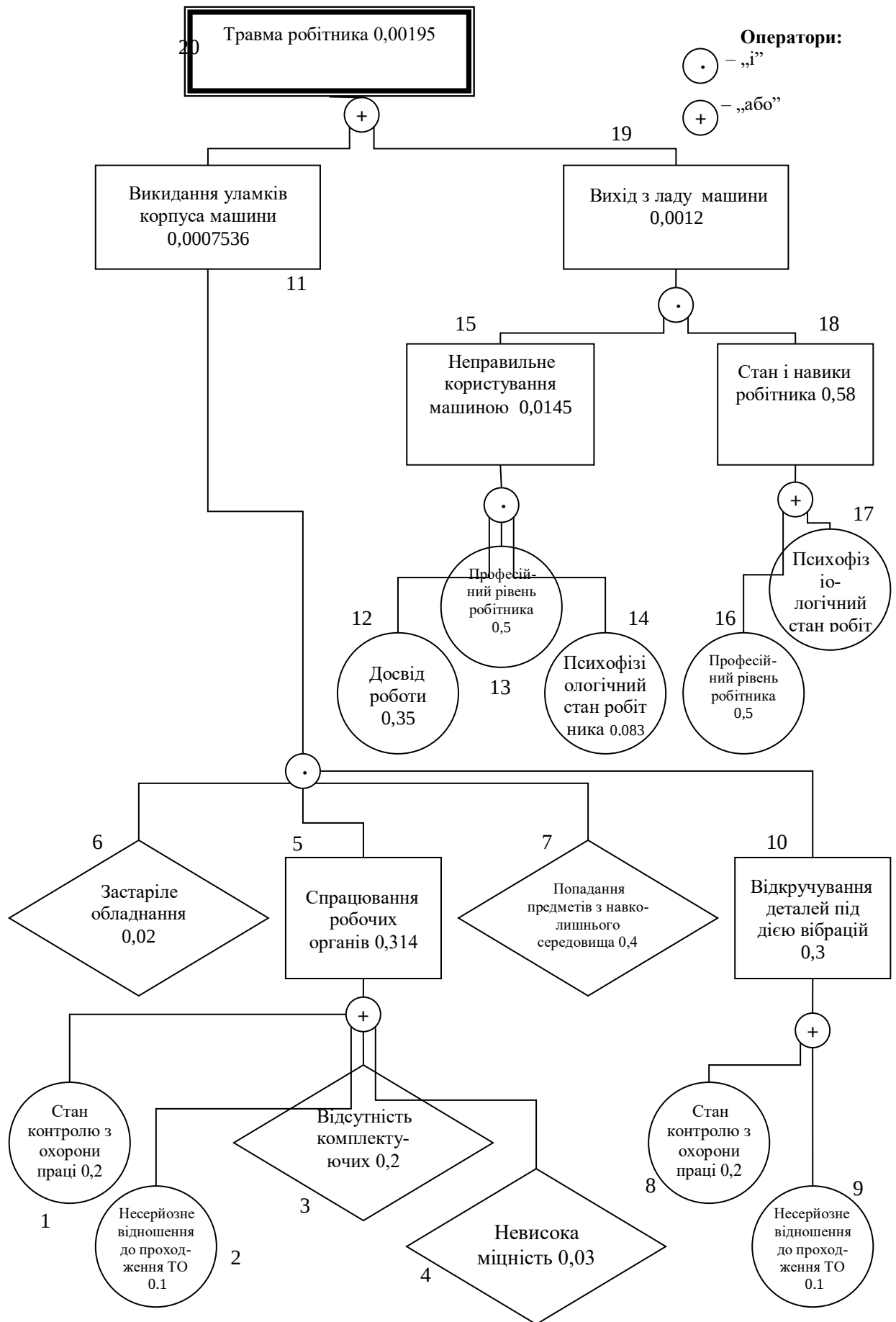


Рис. 5.3 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

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 навколишнього середовища

Захист населення базується на державній системі заходів, що забезпечують виконання організаційних, інженерно - технічних, санітарно - 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

Техніко-економічна оцінка гвинтових конвеєрів для виконання транспортно технологічних операцій в сільськогосподарському виробництві проводиться на основі порівняльного аналізу конструкцій технічних засобів, які виконують типові операції, при співставленні ринкових цін на них, витрат, пов'язаних з їх експлуатацією тощо. Економічний розрахунок собівартості виготовлення і витрат, пов'язаних із експлуатацією різних типів конвеєрів для транспортування сипких вантажів, детально представлено в праці. З врахуванням того, що при купівлі гвинтового конвеєра з можливістю технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів споживач орієнтується на його універсальність, вибір повинен забезпечити максимальну ефективність конструкції. При проведенні даної оцінки за базу приймають існуючі високопродуктивні конструкції гвинтових конвеєрів з можливістю технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів і при визначають їх вартісні та якісні показники. Зокрема по вартісних показниках оцінюють ринкову вартість та затрати на експлуатацію (оплата праці операторів, енерговитрати, витрати на технічне обслуговування та ремонт), а по якісних показниках оцінюють продуктивність, можливість мобільної зміни траєкторії перевантаження та якість технологічного перетворення сільськогосподарських матеріалів (ефективність виконання однієї з 7 основних функціональних операцій, що здійснюються гвинтовими конвеєрами з розширеними технологічними можливостями. Відповідно економічно обґрунтований вибір серед набору альтернативних варіантів ГК з можливістю технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів можна здійснити по формулі:

$$A^* = \max ((1 - \alpha_{\text{п}}) \times E_{\text{мт}} + \alpha_{\text{п}} \times E_{\text{тп}}), \quad (6.1)$$

де α_{π} – коефіцієнт пріоритетності між можливостями технологічного перетворення чи мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів, $\alpha_{\pi} = 1 \dots 0$ (при $\alpha_{\pi} = 1$ альтернатива вибирається по максимальній пріоритетності технологічного перетворення, при $\alpha_{\pi} = 0$ – по максимальній пріоритетності мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів); E_{MT} - економічний ефект від використання ГК за рахунок мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів, грн.; E_{TP} – економічний ефект від використання ГК за рахунок одночасного перевантаження і технологічного перетворення матеріалів, грн. Економічний ефект від використання гвинтових конвеєрів за рахунок мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів у порівнянні з класичними стаціонарними ГК, чи технічними засобами укомплектованими (агрегатованими) ГК, виникає за рахунок: зменшення часу використання операторів (по заробітній платі та нарахуваннях на неї), які задіяні у перекомплектації ГК, додаткових під'їздах чи переїздах технічних засобів укомплектованих (агрегатованих) ГК; уникнення додаткових перевантажень матеріалів для забезпечення потрібного напрямку чи довжини перевантаження; зменшення витрат на електроенергію чи паливо; зменшення тривалості операцій (по амортизаційних відрахуваннях). Економічний ефект від використання гвинтових конвеєрів за одночасного перевантаження і технологічного перетворення матеріалів може виникати з таких причин: зменшення часу використання операторів за рахунок одночасності виконання операцій (по заробітній платі та нарахуваннях на неї); зменшення витрат на електроенергію чи паливо за рахунок одночасності виконання операцій; зменшення сумарної тривалості операцій (по амортизаційних відрахуваннях). Основні залежності для визначення окремих елементів витрат при підрахунку економічної ефективності гвинтових конвеєрів з можливістю технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів, які викладені в, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні залежності для визначення окремих елементів витрат при підрахунку економічної ефективності гвинтових конвеєрів

№ з/П	Показники	Аналітичний зміст показника і зміст складових параметрів
1	2	3
1.	Виробнича собівартість	$C_B = k_{\text{тп-з}} \cdot \sum_{n=1}^m B_n + \sum_{r=1}^t C_r + \sum_{y=1}^o C_y + k_{\text{допл}} \cdot k_{\text{доо}} \cdot k_{\text{нар}} \cdot c_3 \cdot T_h,$ де $k_{\text{тп-з}}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати; B_n – вартість стандартних елементів (електродвигунів, редукторів, елементів керування тощо), грн.; C_r – собівартість типових елементів, що виготовляються із сортового металопрокату (жолобів, елементів розвантаження, з'єднювальних та опорно-поворотних елементів тощо), грн.; C_y – собівартість оригінальних елементів (гвинтових робочих органів, спеціальних муфт тощо), грн.; m, t, o – відповідно кількість стандартних, типових і оригінальних елементів, шт.; $k_{\text{допл}}$ – коефіцієнт доплат; $k_{\text{доо}}$ – коефіцієнт додаткової заробітної плати основних робітників; $k_{\text{нар}}$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування; c_3 – середньозважена погодинна тарифна ставка основних робітників, які зайняті складанням конвеєра, грн.; T_h – трудомісткість складання конвеєра, нормо/год.
2.	Витрати на технічний огляд і ремонт	$C_{\text{ТО}} = \sum_{t=1}^t (C_B \cdot k_{\text{нс}} \cdot k_{\text{под}} \cdot k_{\text{пр}}) / (1+u)^t,$ де $k_{\text{нс}}$ – коефіцієнт переведення виробничої собівартості у повну (враховує величину адміністративних і позавиробничих витрат), $k_{\text{нс}} = 1,1 \dots 1,7$; $k_{\text{под}}$ – коефіцієнт, що враховує величину податку на додану вартість; $k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт річного відрахування на ТО і ремонт, $k_{\text{пр}} = 1,05 \dots 1,2$.
3.	Експлуатаційні витрати	$C_E = \sum_{t=1}^x (k_{\text{вик}} \cdot k_{\text{зм}} \cdot k_{\text{пот}} \cdot P_{\text{вст}} \cdot C_{\text{ен}} \cdot \Phi_{\text{ефо}} + k_{\text{вик}} \cdot k_{\text{зм}} \cdot c_4 \cdot N_{\text{оп}} \cdot k_{\text{допл}} \cdot k_{\text{доо}} \cdot k_{\text{нар}} \cdot \Phi_{\text{ефр}} +$ $+ k_{\text{вик}} \cdot k_{\text{зм}} \cdot P_{\text{пошк}} \cdot m_{\text{вант}} \cdot C_{\text{ен}} \cdot \Phi_{\text{ефо}} + N_{\text{скл}} \cdot c_5 \cdot k_{\text{допл}} \cdot k_{\text{доо}} \cdot k_{\text{нар}} \cdot (N_{\text{м}} \cdot T_{\text{б}} + N_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}})) / (1+u)^t$ де t – номер року використання; x – термін експлуатації конвеєра, роки; $k_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання за зміну протягом року; $k_{\text{зм}}$ – кількість змін використання, $k_{\text{зм}}$: 1, 2, 3; $k_{\text{пот}}$ – коефіцієнт використання приводів по потужності; $P_{\text{вст}}$ – сумарна потужність енергообладнання, кВт; $C_{\text{ен}}$ – ціна одиниці енергетичних ресурсів, грн./кВт.; $\Phi_{\text{ефо}}$ – ефективний фонд часу роботи на плановий період протягом зміни, год. ($\Phi_{\text{ефо}} = 1970$ год.); c_4 – середньозважена погодинна тарифна ставка операторів, що зайняті у виробничому процесі з використанням конвеєрів, грн.; $N_{\text{оп}}$ – кількість операторів, чол.; $\Phi_{\text{ефр}}$ – ефективний фонд робочого часу одного оператора, год. ($\Phi_{\text{ефр}} = 1860$ год.); $P_{\text{пошк}}$ – імовірність втрат частини продукції під час виконання транспортно-технологічних процесів; $m_{\text{вант}}$ – маса перевантаженого вантажу протягом однієї години, кг; $C_{\text{ен}}$ – вартість вантажу, грн./кг; $N_{\text{скл}}$ – кількість працівників, що зайняті у процесі монтажу-демонтажу, чол.; c_5 – середньозважена погодинна тарифна ставка працівників, які зайняті процесом монтажу-демонтажу, грн.; $N_{\text{м}}, N_{\text{д}}$ – відповідно

		кількість монтажів і демонтажів протягом року; T_b , T_d – відповідно трудомісткість одного монтажу і демонтажу, нормо/год.; u – ставка дисконтування, $u = 0,2 \dots 0,4$.
4.	Економія коштів по електроенергії	$E = C_{ел.ен} \cdot B_{кгод} \cdot \Delta E \cdot K_{ел.зм} \cdot K_{зм} \cdot K_{дн.м} \cdot K_{в},$ де $C_{ел.ен}$ – ціна 1 кВт/год. Електроенергії, грн.; $B_{кгод}$ – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням, кВт/год.; ΔE – коефіцієнт економії електроенергії при використанні нового гвинтового конвеєра, $\Delta E \leq 1$; $K_{ел.зм}$ – кількість годин у зміні; $K_{зм}$ – кількість змін; $K_{дн.м}$ – кількість робочих днів на рік; $K_{в}$ – коефіцієнт використання обладнання (0,92).
5.	Економія коштів по зарплаті операторів	$E_{з/н} = ЗП \cdot K_n \cdot 12 \cdot ЧП / 100\%,$ де $ЗП$ – середньомісячна зарплата, грн.; K_n – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22); $ЧП$ – процент числа вивільнених операторів за рахунок зростання продуктивності (%).
6.	Затрати на амортизацію	$A = B_o \cdot K_a \cdot \Sigma T_i / T_d,$ де B_o – вартість обладнання, яке використовується в процесі, грн.; K_a – коефіцієнт амортизації, 0,2; T_d – дійсний час роботи обладнання протягом року, 2070 год.

Проведемо підрахунок певних видів витрат пов'язаних з виконанням окремих транспортно-технологічних операцій для різних типів ГК (при продуктивності переміщення чи перетворення 7 т/год. Зернових матеріалів і довжині перевантаження до 8 м по криволінійній траєкторії).

Витрати на заробітну плату операторів, зайнятого виконанням операцій, з врахуванням єдиного соціального внеску (0,22 згідно Закону України «Про Державний бюджет України на 2025 рік») визначатимуться за формулою:

$$З = T_i \cdot T_{cl} \cdot K_i \cdot K_n,$$

де $З_4$ – затрати на зарплату оператора, грн.; T_i – трудомісткість, яка приймається 1 год.; T_{cl} – величина тарифної ставки 1-го розряду (з 01.01.2020 р. – 28,11 грн./год. [4]); K_i – тарифний коефіцієнт і-го розряду ($K_i = 1,35$ для 4 розряду); K_n – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22).

Витрати по заробітній платі з врахуванням єдиного соціального внеску оператора 4 розряду за годину роботи складуть:

$$З = 1 \cdot 28,11 \cdot 1,35 \cdot 1,22 = 46,3 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при вказаних параметрах визначатиметься за формулою:

$$K = T_i \cdot C_{\text{ел.ен}} \cdot B_{\text{кгод}},$$

де $C_{\text{ел.ен}}$ – ціна 1 кВт/год. Електроенергії (середня ціна купівлі електричної енергії на балансуєчому ринку для промислових та прирівняні до них споживачі – 6,9 грн.);

$B_{\text{кгод}}$ – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням при виконанні операції (2,2 кВт/год).

Витрати на електроенергію за годину роботи ГК складуть:

$$K = 1 \cdot 6,9 \cdot 2,2 = 15,18 \text{ грн.}$$

Укрупнені затрати на амортизацію за годину роботи ГК (при використанні в одну зміну) визначаємо:

- для ГК без можливості мобільної зміни траєкторії перевантаження:

$$A_1 = 17200 \cdot 0,2 / 2070 = 1,66 \text{ грн.};$$

- для гвинтових механізмів для виконання окремої технологічної операції і без можливості одночасного перевантаження матеріалів:

$$A_2 = 16500 \cdot 0,2 / 2070 = 1,59 \text{ грн.};$$

- для ГК з можливістю мобільної зміни траєкторії перевантаження:

$$A_3 = 22700 \cdot 0,2 / 2070 = 2,19 \text{ грн.};$$

- для ГК з можливістю технологічного перетворення і перевантаження матеріалів:

$$A_4 = 18500 \cdot 0,2 / 2070 = 1,79 \text{ грн.};$$

для ГК з можливістю одночасної мобільної зміни траєкторії перевантаження і технологічного перетворення матеріалів:

$$A_5 = 24300 \cdot 0,2 / 2070 = 2,35 \text{ грн.}$$

Укрупнений розрахунок витрат для технологічного перетворення та/чи мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів з допомогою різних типів ГК (при продуктивності переміщення чи перетворення 7 т/год. Зернових матеріалів і довжині перевантаження до 8 м по криволінійній траєкторії) подано в таблиці 7.9.

Таблиця 6.2 – Укрупнений розрахунок витрат для технологічного перетворення та/чи мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів з допомогою різних типів гвинтових конвеєрів

Тип конвеєра	Втрати на заробітну плату операторів, грн.	Енерговитрати на виконання процесу, грн.	Витрати на амортизацію обладнання, грн.	Разом витрат, грн.
ГК без можливості мобільної зміни траєкторії перевантаження (використання двох одиниць ГК або послідовне перевантаження)	92,6	9,2	3,32	105,12
Гвинтовий механізм для виконання окремої технологічної операції і без можливості одночасного перевантаження матеріалів (використання двох одиниць ГК: технологічного і транспортного)	92,6	9,2	3,25	105,05
ГК з можливістю мобільної зміни траєкторії перевантаження	46,3	4,6	2,19	53,09
ГК з можливістю технологічного перетворення і перевантаження матеріалів	46,3	4,6	1,79	52,69
ГК з можливістю одночасної мобільної зміни траєкторії перевантаження і технологічного перетворення матеріалів	46,3	4,6	2,35	53,25

Наведені в табл. 6.2 розрахунки стосуються використання різних типів ГК протягом однієї години. Якщо ці дані перевести на роботу обладнання

протягом року (2070 год.), то річний укрупнений економічний ефект від застосування:

- ГК з можливістю мобільної зміни траєкторії перевантаження у порівнянні з ГК без можливості мобільної зміни траєкторії перевантаження становитиме:

$$E_1 = (105,12 - 53,09) \cdot 2070 = 108240,3 \text{ грн.};$$

- ГК з можливістю технологічного перетворення і перевантаження матеріалів у порівнянні з гвинтовими механізмами для виконання окремої технологічної операції і без можливості одночасного перевантаження матеріалів становитиме:

$$E_1 = (105,05 - 52,69) \cdot 2070 = 105921,9 \text{ грн.};$$

- ГК з можливістю одночасної мобільної зміни траєкторії перевантаження і технологічного перетворення матеріалів у порівнянні з гвинтовими механізмами для виконання окремої технологічної операції і без можливості мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів становитиме:

$$E_1 = ((92,6 + 13,8 + 4,91) - 53,25) \cdot 2070 = 120184,2 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Існує цілий ряд невирішених теоретичних і прикладних питань, пов'язаних з досліджуваною проблемою розробки конструкцій ефективних гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів, розв'язання яких дасть можливість створити які потребують вирішення. Відтак існує реальна потреба у розвитку механіко-технологічних засад розробки багатофункціональних секційних шнеків з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження сільськогосподарських матеріалів, розв'язання яких є створення та розвиток механо-технологічних засад розробки багатофункціональних секційних шнеків з можливостями технологічного перетворення.

Для дослідження ефективних конструкцій гвинтових конвеєрів здійснено аналіз методик морфологічного аналізу та проведено структурно-схемний синтез їх конструкцій. Зокрема згенерова прогресивні моделі гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження сільськогосподарських матеріалів, телескопічних гвинтових конвеєрів, змішувачів з гвинтовими робочими органами, конструкцій гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами та елементів їх захисту.

Здійснено дослідження динамічних процесів, які відбуваються в роботі телескопічних гвинтових транспортерів-сепараторів сільськогосподарських сипких матеріалів, побудувати їх математичні моделі та провести аналіз динаміки системи «телескопічний шнек – сипке середовище» зі встановленням впливу руху суцільного потоку сипкого середовища на поздовжні та згинальні коливання шнека телескопічного конвеєра нерезонансного та резонансного типів, які зумовлені зовнішніми періодичними силами та крутильними коливаннями. Проаналізовано взаємозв'язок та вплив основних параметрів зазначених коливань на конструктивно-технологічні та експлуатаційні характеристики сталої та

повільно змінної довжини телескопічного гвинта.

Проведено дослідження процесу транспортування зернової суміші шнековим транспортером із одночасною сепарацією з побудовою математичної моделі даного процесу. Проаналізовано методику дослідження процесу транспортування зернової суміші з одночасною сепарацією для встановлення впливу різних значень параметрів даної системи на цей процес.

Здійснено аналіз теоретичних досліджень процесів транспортування та змішування сипких сільськогосподарських матеріалів гвинтовим завантажувачем- змішувачем з побудовою математичної моделі згинальних коливань шнека крутонахиленої вітки гвинтового завантажувача-змішувача та дослідженням резонансних коливань в крутонахиленій вітці гвинтового завантажувача- змішувача.

Розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень з використанням стендового обладнання, оснащеного сучасними засобами керування процесами та фіксації і обробки даних досліджень. Згідно розробленої програми провести експериментальні дослідження процесів транспортування, сепарації та змішування сільськогосподарських вантажів мобільними гвинтовими транспортерами.

Приведено аналіз стану охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Виконано техніко-економічну оцінку гвинтових конвеєрів для виконання транспортно-технологічних операцій в сільськогосподарському виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Іванишин В. В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки*. 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8–14.
2. 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. Київ: НАУ. 2000. С.339-343.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. 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

9. 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.

10. 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.

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

12. Луців І. В. Теорія технічних систем / [Ю. М. Кузнєцов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк]; під заг. ред. Ю. М. Кузнєцова. Тернопіль : ТНТУ, 1997. 310 с.

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

14. 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.

15. 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 патентоотримувачі Герук С.М., Довбиш

- А.П., Ляшук О.Л.—№ u201602117; заявл. 04.03.16; опубл. 12.09.16, Бюл. №17.
16. 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 патентотримувачі 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.
17. 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.
18. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В.Брагінець, О.О.Заболотько та інш. Київ: Кондор, 2011. 396с.
19. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. 2012. № 3 (67). С.197–210.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.

25. 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.

26. 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 Sciences Volume 57, Issue 4, December 2012, Pages 1101-1119

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. 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.

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