

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

_____ Володимир ДІДІУР

“ ____ ” _____ 2025

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр
(освітній ступінь)

на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СІНА В РУЛОНАХ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім,
спеціальність Н7 «Агроінженерія»

_____ Владислав СЕМІВОЛОС

Керівник: _____ Олександр ПУШКА

м. Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень магістр
Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ДІДУР

“ ” _____ 2025

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

Семиволос Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування конструктивних параметрів платформи для транспортування сіна в рулонах»

керівник роботи Пушка Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«_____» _____ 2025 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Сучасний стан механізації транспортування
грубих кормів. Комплексна оцінка ефективності використання машин для
транспортування сіна в рулонах. Результати експериментальних досліджень
ефективності використання транспортних засобів для перевезення сіна в
рулонах. Результати експериментальних досліджень ефективності
використання бортового транспортного засобу обладнаного платформою для
перевезення сіна в рулонах. Економічна ефективність роботи. Охорона праці та
безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Бібліографічний список..

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Технічні засоби для формування і
транспортування рулонів сіна. 3. Вибір і аналіз факторів впливаючих на

ефективність використання машин для транспортування сіна в рулонах.
4.Експериментальні дослідження ефективності використання транспортних засобів для перевезення сіна в рулонах. 5. Результати експериментальних досліджень ефективності використання транспортних засобів для перевезення сіна в рулонах. 6. Пошкоджуваність рулонів на навантажувально-транспортно-розвантажувальних операціях. 7. Платформа до бортового транспортного засобу для перевезення рулонів сіна і технологія їх вивантаження. 8..Платформа до бортового транспортного засобу для перевезення рулонів сіна і технологія їх вивантаження. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
2	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
3	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
4	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
5	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
6	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2025 р.	
	Теоретичний	до 30.09.2025 р.	
	Експериментальний	до 30.09.2025 р.	
	Охорона праці	до 05.10.2025 р.	
	Економічний	до 10.11.2025 р.	
	Демонстраційна частина	до 12.11.2025 р.	

Студент

(підпис)

Семиволос В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пушка О.С.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Сучасний стан механізації транспортування грубих кормів.....	10
1.1. Особливості виробництва грубих кормів.....	10
1.2. Технічні засоби для формування і транспортування рулонів сіна.....	12
1.3. Висновки до розділу.....	20
1.4. Мета і завдання дослідження.....	21
2. Комплексна оцінка ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах.....	22
2.1. Схема оцінки ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах.....	22
2.2. Вибір і аналіз факторів впливаючих на ефективність використання машин для транспортування сіна в рулонах.....	23
2.3. Обґрунтування показників ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах.....	28
2.4. Висновки до розділу.....	34
3. Результати експериментальних досліджень ефективності використання транспортних засобів для перевезення сіна в рулонах.....	35
3.1. Розмірно-масові характеристики рулонів сіна.....	35
3.2. Результати хронометражу транспортування і розвантаження рулонів сіна	41
3.3. Результати досліджень показників ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах.....	47
3.3.1. Методика порівняння ефективності використання транспортних засобів по комплексному критерію ефективності.....	47
3.3.2 Використання вантажопідйомності транспортних засобів і їх продуктивності для транспортування рулонів сіна.....	49

3.3.3. Трудомісткість розвантаження рулонів сіна.....	52
3.3.4. Питома металоємність транспортних засобів.....	53
3.3.5. Пошкоджувальність рулонів на навантажувально-транспортно- розвантажувальних операціях.....	55
3.4. Висновки до розділу.....	56
4. Результати експериментальних досліджень ефективності використання бортового транспортного засобу обладнаного платформою для перевезення сіна в рулонах.....	58
4.1. Платформа до бортового транспортного засобу для перевезення рулонів сіна і технологія їх вивантаження.....	58
4.2. Методика планування багатofакторного експерименту.....	61
4.3. Методика визначення коефіцієнта тертя спокою рулонів сіна по опорному щиту платформи.....	74
4.4. Висновки до розділу.....	76
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	77
5.1. Дослідження виробничого травматизму в господарстві ТОВ «Зоря».....	79
5.2. Рекомендації по поліпшенню умов праці в ТОВ «Зоря».....	82
5.3. Висновки до розділу.....	84
6. Економічна ефективність роботи.....	85
Загальні висновки.....	98
Список використаної літератури.....	99
Додатки.....	102

РЕФЕРАТ

Дипломна робота включає вступ, шість змістовних розділів, загальні висновки та бібліографічний список, що налічує 40 найменувань. Основний матеріал викладено на 94 сторінках машинописного тексту й доповнений 55 ілюстраціями та 9 таблицями.

Метою магістерського дослідження є підвищення ефективності транспортування рулонованого сіна шляхом раціонального використання серійних транспортних засобів, відібраних за інтегральним критерієм ефективності, а також застосування на бортових автомобілях спеціально розробленої платформи.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконано такі завдання:

1. Проведено аналіз та надано оцінку показників ефективності використання окремих серійних транспортних засобів під час перевезення рулонованого сіна.
2. Визначено та обґрунтовано ефективність транспортування рулонів сіна за допомогою серійних транспортних засобів.
3. Розроблено конструктивно-технологічну схему платформи для бортового автомобіля, призначеної для переміщення рулонів грубих кормів; оптимізовано її геометричні параметри та запропоновано раціональну технологію вивантаження рулонів.
4. Сформульовано практичні рекомендації щодо вибору найбільш придатного транспортного засобу для перевезення рулонів сіна на різні відстані.

Ключові слова: грубі корми, сіно, транспортний засіб, платформа, навантаження, вивантаження, транспортування.

ВСТУП

Розвиток м'ясного та молочного скотарства в Україні сьогодні належить до пріоритетних стратегічних напрямів агропромислового комплексу. Значне скорочення поголів'я великої рогатої худоби спричинило зменшення виробництва яловичини та молока більш ніж на 40%. У таких умовах відновлення і нарощування поголів'я та підвищення його продуктивності є вкрай актуальним завданням, вирішення якого неможливе без зміцнення кормової бази.

Основу раціону ВРХ традиційно становлять комбікорми й силос, однак для стабільної роботи травної системи необхідна достатня кількість грубих кормів — передусім сіна та соломи, які є ключовими джерелами клітковини. Для господарств Вінницької області, де тривалість стійлового періоду перевищує пів року, частка грубих кормів може досягати 80% від загального обсягу раціону. Особливо важливим є забезпечення якісним сіном сухостійних корів та молодняку у зимово-весняний період.

Процес заготівлі сіна — як у россыпному, так і в пресованому стані — включає низку операцій, які необхідно виконувати у визначені агротехнічні строки, з високою якістю і мінімальними витратами ресурсів. Дотримання цих вимог накладає підвищені вимоги до технічних засобів та організації технологічного процесу.

Заготівля потрібних обсягів якісного сіна неможлива без впровадження сучасних технологій і високопродуктивних машин, здатних зменшити втрати поживності кормів, знизити собівартість робіт та забезпечити ефективні операції транспортування і розвантаження. В Україні одним із найбільш поширених методів є технологія рулонування сіна. Вона характеризується високою продуктивністю техніки, широкою механізацією процесів та універсальністю, оскільки придатна також для заготівлі соломи, сінажу та силосу із застосуванням плівкового пакування.

Незважаючи на наявність значної кількості вітчизняних машин для

заготівлі, навантаження, транспортування та розвантаження грубих кормів, питання вибору оптимальних технічних засобів для ефективного переміщення рулонів досі недостатньо обґрунтовані. Не сформовано єдиних рекомендацій щодо поєднання машин та технологічних операцій під час транспортування рулонів сіна.

Саме тому актуальним є створення нових і вдосконалення існуючих технологій та технічних рішень для транспортування грубих кормів у рулонах, що забезпечують підвищення ефективності та зниження витрат.

Метою даної роботи є підвищення ефективності транспортування рулонованого сіна шляхом застосування серійних транспортних засобів, відібраних за комплексним критерієм ефективності, а також використання на бортових автомобілях спеціально розробленої платформи.

Завдання дослідження:

1. Провести оцінку ефективності використання окремих серійних транспортних засобів для перевезення рулонів сіна.
2. Встановити рівень ефективності транспортування рулонованого сіна за комплексним критерієм і порівняти результати між різними видами транспортних засобів.
3. Розробити конструктивно-технологічну схему платформи для бортового автомобіля, оптимізувати її геометричні параметри та обґрунтувати технологічний процес вивантаження рулонів.
4. Сформулювати рекомендації щодо вибору транспортних засобів для перевезення рулонів сіна на різні відстані з урахуванням удосконаленої технології їх вивантаження з бортового автомобіля.

1. СУЧАСНИЙ СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГРУБИХ КОРМІВ

1.1. Особливості виробництва грубих кормів

Поголів'я великої рогатої худоби в Україні за останні роки так і не повернулося до рівня 2010 року. Якщо у 2010 році налічувалося близько 9,5 млн голів, то вже у 2019 році цей показник становив лише 5,3 млн голів. За таких умов поряд із розвитком м'ясного скотарства особливої актуальності набуває й нарощування обсягів молочного виробництва. Протягом найближчих 5–6 років необхідно збільшити поголів'я молочних корів щонайменше на один мільйон голів, одночасно підвищуючи їх продуктивність.

Однак досягти значного зростання обсягів виробництва яловичини та молока неможливо без суттєвого зміцнення кормової бази. Важливе місце у структурі сівозмін займають кормові сівозміни [1, 14], які забезпечують значну частину кормової продукції для ВРХ. До того ж істотну частку річного раціону худоби становить зелений корм із природних пасовищ — до 80% від загальної потреби. Основний же обсяг заготовленого сіна надходить саме з природних лук і пасовищ.

Розвиток кормовиробництва має здійснюватися комплексно: разом із розширенням площ кормових культур та підвищенням їх урожайності необхідно впроваджувати сучасні технології заготівлі, які можуть бути реалізовані лише за допомогою високопродуктивних та надійних машин.

Основу раціону великої рогатої худоби традиційно формують комбікорми та силос. Водночас для повноцінної роботи травної системи обов'язковим є введення грубих кормів, до яких належать сіно та солома різних культур. У стійловий період у раціон дійних корів грубі корми мають становити 15–20% від загальної поживності раціону [37, 21].

Певні труднощі виникають у тваринництві молочного напрямку через підвищену кислотність силосу та сінажу, що негативно впливає на якість

молочної продукції [12]. Саме тому введення у раціон сіна є необхідною умовою для отримання високоякісного молока.

Не менше значення сіно має й у раціонах м'ясного поголів'я, оскільки є основним джерелом каротину — попередника вітаміну А, який відіграє ключову роль у рості молодняку. Ця роль особливо важлива під час переходу від зимового до літнього раціону, коли частка клітковини у годівлі різко знижується.

При виборі технології заготівлі сіна необхідно враховувати, що після природного сушіння у сіні зберігається понад 10% каротину [12]. Оскільки основна його кількість міститься у листках і суцвіттях, важливо мінімізувати втрати цих частин рослин, які легко осипаються. Це накладає вимоги на вибір машин і технологічних схем, що використовуються при заготівлі.

Серед грубих кормів провідну роль у годівлі ВРХ відіграє сіно, тоді як солома є здебільшого побічним продуктом і головним чином використовується як підстилка. Лише в окремих господарствах посушливих років солому додають до раціону. Додатковою цінністю може бути полова, проте ефективних технологій її збирання з комбайнів із половонабивачами досі не розроблено. Сучасна технологія збирання зернових із подрібненням та розкиданням соломи практично унеможливорює відбір полови у достатньому обсязі.

Все це підтверджує необхідність детального дослідження технологічних операцій заготівлі сіна та технічних засобів, що забезпечують їх реалізацію.

1.2. Технічні засоби для формування і транспортування рулонів сіна

На сьогодні заготівля сіна здійснюється у двох основних формах — у розсипному та пресованому вигляді. Грубі корми, включаючи сіно, заготовляють у розсипному стані за кількома технологічними схемами, що передбачають формування валків, копиць або стяжок.

Усі зазначені технології заготівлі грубих кормів у розсипному вигляді ґрунтовно висвітлені у наукових джерелах.

Технологія збирання розсипного сіна із формуванням валка передбачає застосування напівпричепа-підбирача ТП-Ф-45 (рис. 1.1, а), який забезпечує підбирання маси, її завантаження та подальше транспортування. Водночас ефективність використання машини ТП-Ф-45 на транспортних відстанях понад 3 км істотно знижується [13], а собівартість кормів за цією технологією є однією з найвищих [20].

Технологія збирання розсипного сіна з формуванням копиць на полі включає комплекс операцій, що виконуються підбирачем-копнувачем ПК-1,6А (рис. 1.1, б). Він забезпечує підбирання сіна з валків, формування копиць круглої форми об'ємом до 9 м³ та їх укладання рядами на полі. Подальші операції включають:

- навантаження копиць, яке здійснюється навантажувачем ПФ-0,5М (рис. 1.2, а) або навісним універсальним навантажувачем СНУ-550 (рис. 1.2, б);
- транспортування копиць, що виконується копицевозами на кшталт ПКУ-0,8-4 (рис. 1.3, а), спеціалізованими кормовозами-причепами, звичайними тракторними прицепами або автомобілями із підвищеними бортами.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Напівпричіп-підбирач ТП-Ф-45 (а) та підбирач-копнувач ПК-1,6А (б).



а)



б)

Рисунок 1.2 – Фронтальний навантажувач ПФ-0,5М (а) та навісний універсальний копиценовантажувач СНУ-550 (б).

Незважаючи на те, що підбирач-копнувач ПК-1,6А знято з серійного виробництва, технологія заготівлі сіна з його використанням і надалі залишається поширеною у багатьох господарствах Вінницької області.

Копицева технологія [12] базується на застосуванні комплексу спеціалізованих машин. До його складу входить машинно-тракторний агрегат у складі колісного трактора тягового класу 2, 3 або 5 та копицеутворювача СПТ-60 (рис. 1.3, б). Зазначений агрегат забезпечує підбирання сіна з валка, формування копиці об'ємом близько 60 м³ зі щільністю 70–90 кг/м³ та подальше її вивантаження на полі. Для переміщення сформованих копиць до місць зберігання використовується копицевоз СП-60, який здійснює їх підбирання і транспортування.

Варто зазначити, що основні машини, що входять до цього технологічного комплексу, так само знято з виробництва, проте технологія продовжує застосовуватися в господарствах завдяки її простоті та відпрацьованості на практиці.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Універсальний навантажувач-копицевоз ПКУ-0,8-4 (а) та копицеутворювач СПТ-60 (б).

Під час реалізації технології заготівлі розсипного грубого корму зі створенням стяжки застосовується напівпричіп-підбирач ТП-Ф-45, який формує стяжку, вивантажуючи у неї підбране сіно.

Подальше завантаження сіна зі стяжки у транспортні засоби — причепи-кормовози, тракторні причепи або автомобілі — виконується навантажувачами копиць ПФ-0,5М чи СНУ-550. Напівпричіп-підбирач ТП-Ф-45 вирізняється досить високою продуктивністю, а собівартість заготівлі сіна за такою технологічною схемою є нижчою, ніж при інших методах заготівлі розсипного сіна [23].

Водночас однією з ключових вад розглянутих технологій заготівлі сіна в розсипному вигляді є недостатня ефективність навантажувальних і транспортних операцій, що суттєво обмежує їхню продуктивність.

Грубі корми у пресованому вигляді готують у формі тюків або рулонів. Для заготівлі сіна у тюках масою до 36 кг використовують прес-підбирачі ПС-1,6 (рис. 1.4, а), К-459, а також Z-2690 METAL-FACH (рис. 1.4, б), які забезпечують формування тюків та їх вивантаження на поверхню поля.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Прес-підбирачі ПС-1,6 (а) та Z-2690 METAL-FACH (б).

Підбирання та завантаження тюків у транспортні засоби може виконуватися навантажувачами ПФ-0,5М, а їх подальше перевезення здійснюють тракторними візками або автомобілями. Для комплексного виконання операцій підбору тюків, їх завантаження та транспортування можуть застосовуватися підбирачі-тюкоутворювачі ГУТ-2,5А у поєднанні з транспортувальником штабелів тюків ТШН-2,5А.

У малих фермерських господарствах, через обмеженість технічних засобів, нерідко продовжують використовувати ручну працю для вантаження та укладання малогабаритних тюків у транспортні засоби, а також для їх розвантаження в місцях зберігання.

Технологія заготівлі сіна в тюках масою до 500 кг передбачає використання прес-підбирача ПКТ-Ф-2 вітчизняного виробництва, а також низки імпортних моделей, серед яких: «John Deere» (680, 690), «New Holland» (D1010, D1210), «Hesston» (4800), «CLAAS» (QUADRANT 1200, 2200), «Welger» (D4000, D6500), «Krone» (BigPack 120×80), «Fortschritt» (F-530, F-550), «Massey Ferguson» (MF185, MF190) та «Riviere» (12080) [13].

Великогабаритні тюки завантажуються за допомогою навантажувачів-копицеутворювачів, оснащених спеціальними робочими органами для

надійного захоплення тюків. Для транспортування таких тюків, як правило, використовуються тракторні причеми, які забезпечують необхідну вантажопідйомність та стійкість під час руху.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Рулонні прес-підбирачі ПРП-1,6 (а) та ПР-Ф-110 (б).

На сьогодні як в Україні, так і за її межами широкого поширення набула технологія заготівлі сіна у вигляді рулонів різної маси. Формування рулонів сіна чи соломи здійснюється рулонними прес-підбирачами різних модифікацій. До числа таких машин належать ПРП-1,6 (рис. 1.5, а), ПР-Ф-110 (рис. 1.5, б), ПР-145С (рис. 1.6, а), ПР-Ф-180 (рис. 1.6, б), ППР-120 «Pelikan» (рис. 1.7, а), ПР-Ф-750 (рис. 1.7, б) та інші зразки як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Рулонні прес-підбирачі ПР-145С (а) та ПР-Ф-180 (б).



а)



б)

Рисунок 1.7 – Рулонні прес-підбирачі ППР-120 «Pelikan» (а) та ПР-Ф-750 (б).

Зазначені вище рулонні прес-підбирачі забезпечують формування рулонів сіна масою від 120 до 750 кг. Заготівля сіна у пресованому стані дає змогу зменшити втрати поживних речовин у 1,5–2 рази порівняно з технологіями заготівлі розсипного сіна. Крім того, у сховищі можна розмістити у 3–4 рази більший обсяг пресованого сіна у вигляді рулонів.

Аналіз наукових досліджень свідчить, що використання технологій заготівлі сіна у великих тюках та рулонах має суттєві переваги над заготівлею розсипного сіна та формуванням малогабаритних тюків чи рулонів. До основних переваг належать:

1. висока продуктивність навантажувальних засобів і транспортних агрегатів;
2. можливість застосування серійних тракторних причепів та універсальних кормовозів;
3. використання універсальних навантажувачів-копицеутворювачів, обладнаних спеціальними захватними пристроями для тюків і рулонів;
4. повна механізація вантажно-розвантажувальних та транспортних операцій без залучення ручної праці.

Водночас технології пресування сіна у великогабаритні тюки й рулони мають і певні недоліки. Основні з них такі:

1. пресування можливе лише за вологості сіна, наближеної до стандартної (близько 17%) з допустимими відхиленнями 3–5%, що складно

забезпечити через мінливі погодні умови;

2. у разі неможливості доведення вологості до потрібного рівня за допомогою ворошіння, підняття маси або валкування, а через низьку забезпеченість господарств такою технікою, виникає потреба у використанні дорогих консервантів;

3. недостатня забезпеченість сільськогосподарських підприємств подрібнювачами та розмотувачами тюків і рулонів;

4. низький рівень адаптації цих технологій у приватному секторі.

З огляду на зазначені недоліки, у господарствах Вінницької області найчастіше застосовують прес-підбирачі, що формують рулони масою до 250 кг, оскільки така техніка є більш доступною, технологічно адаптивною та економічно доцільною в умовах регіону.

Висновки до розділу

Огляд наукових джерел, присвячених тематиці дослідження, дає змогу сформулювати такі узагальнення:

1. Підвищення продуктивності великої рогатої худоби неможливе без суттєвого розширення та зміцнення кормової бази.

2. Необхідно збільшувати обсяги заготівлі високоякісного сіна як ключового виду грубих кормів, що забезпечує нормальне функціонування травної системи ВРХ, знижує кислотність молока у корів молочного напрямку та слугує джерелом каротину й провітаміну А для тварин м'ясного напрямку.

3. Сучасне сінозаготівельне виробництво передбачає використання двох основних форм заготівлі — у розсипному та пресованому вигляді.

4. Для реалізації різних технологічних схем заготівлі застосовується широкий спектр машин і агрегатів як вітчизняного, так і імпортного виробництва.

5. Найбільш перспективною та технологічно доцільною є заготівля сіна у пресованому вигляді, зокрема у рулонах.

6. Рулонні прес-підбирачі забезпечують високу якість формування

рулонів та значно перевищують навантажувальні й транспортні засоби за продуктивністю.

7. Для переміщення рулонів з поля до місць зберігання або реалізації застосовують бортові та самоскидні вантажні автомобілі, тракторні причеи, транспортувальники рулонів і спеціальні транспортні агрегати.

8. Існуючі транспортні засоби для перевезення рулонів сіна мають низьку ефективність:

- вантажні автомобілі та причеи використовують свою вантажопідйомність лише частково;
- транспортувальники рулонів та тракторні причеи працюють з малою швидкістю та мають обмежений радіус дії;
- несамоскидні транспортні засоби потребують додаткових машин для розвантаження;
- процес розвантаження підвищує енерговитрати;
- відсутні пристрої, що дають змогу вивантажувати всі рулони одночасно, окремі групи або один рулон за потреби.

9. Ефективність технологічних процесів переважно визначають за економічними показниками, що відображають витрати та результати.

10. Оцінку ефективності впровадження нової техніки чи конкретних технологічних процесів, зокрема транспортування рулонів сіна, необхідно здійснювати за ступенем відповідності отриманих результатів запланованим. При цьому доцільно використовувати агреговану функцію оцінювання, яка враховує комплекс показників ефективності.

2. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИН ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СІНА В РУЛОНАХ

2.1. Схема оцінки ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах

Для визначення рівня ефективності використання машин, призначених для транспортування грубого корму в рулонах, насамперед було сформульовано головний принцип, який задає загальний методологічний підхід до досягнення поставленої мети. Суть цього принципу полягає в тому, що комплексна оцінка ефективності повинна базуватися на аналізі системи показників, які відображають результати роботи машин у реальних умовах експлуатації.

Відповідно до зазначеного принципу, процес оцінювання включає такі послідовні етапи:

- по-перше, визначення та аналіз факторів, що впливають на ефективність функціонування машин для транспортування рулонованого грубого корму;
- по-друге, відбір сукупності показників, які дозволяють виконати диференційовану оцінку ефективності за підсумками експериментальних досліджень;
- по-третє, вибір форми комплексного критерію ефективності на основі обраної системи показників та з урахуванням поставленої мети дослідження, а також розрахунок його величини;
- по-четверте, проведення аналізу отриманих результатів з метою встановлення рівня ефективності використання машин та формування пропозицій щодо технічних і/або технологічних шляхів підвищення ефективності процесів заготівлі сіна.

Структурно-логічна схема оцінювання ефективності використання машин

для транспортування грубого корму в рулонах подана на рисунку (рис. 2.1).

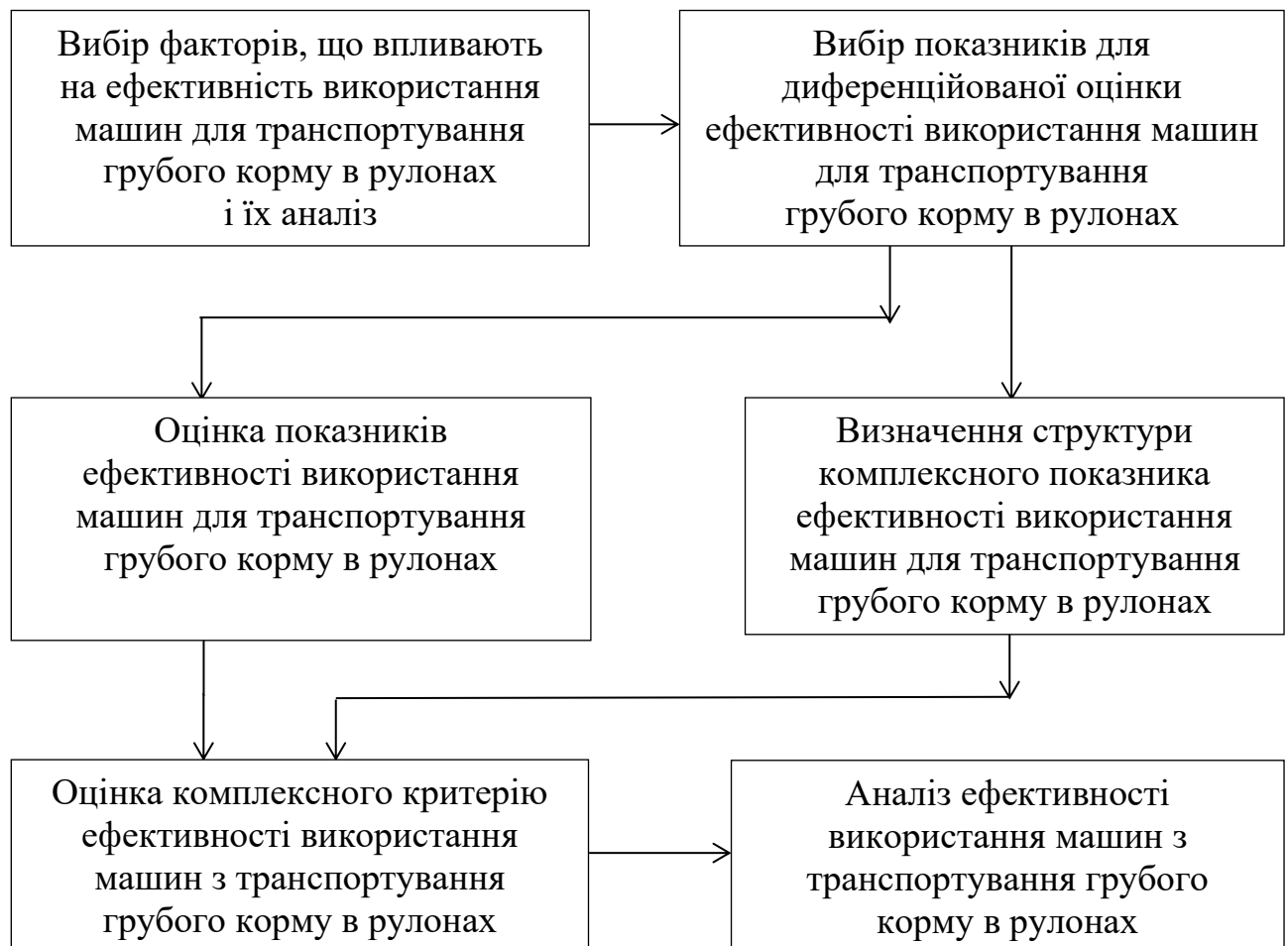


Рисунок 2.1 – Структурна схема оцінювання ефективності використання машин для транспортування грубого корму в рулонах.

Подальші теоретичні та експериментальні дослідження мають передбачати послідовне виконання всіх етапів, наведених у структурній схемі (рис. 2.1), які охоплюють процес оцінювання ефективності використання машин для транспортування грубого корму в рулонах.

2.2. Вибір і аналіз факторів впливаючих на ефективність використання машин для транспортування сіна в рулонах

На ефективність функціонування машин, призначених для транспортування сіна в рулонах, впливає комплекс взаємопов'язаних факторів (рис. 2.2). Усі ці фактори доцільно об'єднати у дві ключові групи: конструктивно-технологічні та експлуатаційно-організаційні.

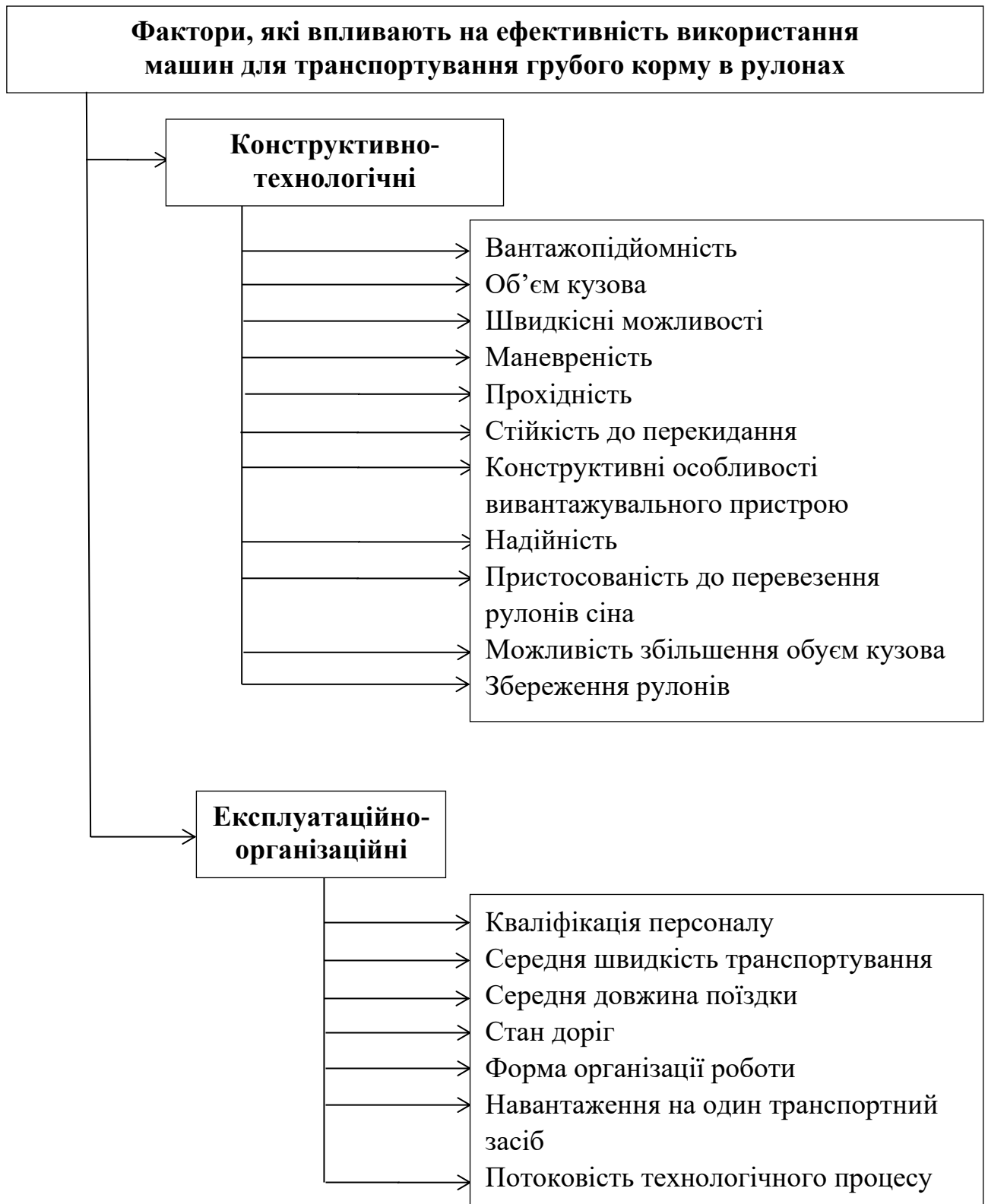


Рисунок 2.2 – Основні фактори, що впливають на ефективність використання машин для транспортування грубого корму в рулонах.

Конструктивно-технологічні фактори залежать передусім від особливостей конструкції транспортного засобу. До них належать: вантажопідйомність і можливість її повного використання; об'єм кузова та варіанти його змінення; швидкісні характеристики; маневреність; прохідність на різних типах доріг; стійкість проти перекидання; конструктивні особливості вивантажувального механізму (самоскидний спосіб або потреба додаткових пристроїв); технічна та технологічна надійність агрегату; можливість транспортування рулонів без деформації, умови збереження їхньої форми та обв'язування; а також інші параметри, що визначають функціональність транспортного засобу.

Експлуатаційно-організаційні фактори формуються під впливом умов використання транспортних засобів. Вони визначаються рівнем кваліфікації персоналу, середньою швидкістю руху, що залежить як від потужності та динамічних можливостей самохідного транспортного засобу або тягача, так і від професійності водія, стану дорожнього покриття тощо. До цієї групи факторів відносять також: середню відстань транспортування рулонів, що визначається масштабами господарства та віддаленістю пунктів зберігання або реалізації; стан ґрунтових і твердих доріг; частку маршруту, що проходить по автомобільних дорогах і по польових ділянках; організаційну форму роботи (індивідуальну, ланкову, бригадну тощо); навантаження на транспортний засіб, яке залежить від загального обсягу перевезень та кількості машин з різною вантажопідйомністю; ступінь поточності збирання, транспортування й розвантаження кормів, що зумовлюється якістю управління технологічним процесом.

Важливими є також розмірні, масові та фізичні характеристики самих рулонів сіна.

Отже, для коректної оцінки ефективності використання машин для транспортування грубого корму в рулонах необхідно враховувати як вплив окремих факторів, так і наслідки їх взаємодії, що позначаються як на одиничних показниках, так і на комплексному критерії ефективності.

Розглянемо детальніше вплив одного з ключових факторів — відстані між місцем формування рулонів та пунктом їх вивантаження — на показники роботи транспортних засобів під час перевезення сіна чи соломи у рулонах у господарствах будь-якої форми власності.

Вивантаження рулонів може здійснюватися як у місцях зберігання, так і у пунктах реалізації. У межах цього дослідження розглянуто перший варіант — доставку рулонів автотранспортом до місця їхнього зберігання.

Як показує аналіз літературних джерел, обрана відстань істотно впливає на продуктивність транспортних засобів та питомі витрати, зокрема й фінансові, пов'язані з транспортуванням рулонів.

Продуктивність транспортного засобу за узагальненим показником — обсягом перевезень Q , т/год у межах одного циклу — визначають за формулою:

$$W_{\text{тр}} = \frac{q_n \gamma}{t_{\text{ц}}}, \quad (2.1)$$

де q_n — номінальна вантажопідйомність транспортного засобу, т;

γ — коефіцієнт використання вантажопідйомності (для перевезення рулонів сіна чи соломи $\gamma = 1$ у випадку застосування спеціальної платформи [37]);

t_n — тривалість одного технологічного циклу, год.

Продуктивність прес-підбирача за площею, тобто кількість гектарів, які він може обробити за 1 годину змінного часу, визначається за формулою:

$$W_{\text{п-п}} = 0,1 B_p v_p \tau, \quad (2.2)$$

де B_p — робоча ширина захвату косарки під час скошування сіна, м;

v_p — робоча швидкість руху прес-підбирача, км/год;

τ — коефіцієнт використання змінного часу.

Враховуючи урожайність культури (Y) та продуктивність прес-підбирача за площею ($W_{\text{п-п}}$), можна визначити його продуктивність за масою сформованого сіна в рулонах:

$$W_{\text{пр-п}} = W_{\text{п-п}} Y. \quad (2.3)$$

Припустімо, що в заготівельному ланцюзі використовується $n_{\text{пр-п}}$ прес-

підбирачів однієї моделі, а в транспортній ланці працює – $n_{\text{тр}}$ автомобілів з однаковою вантажопідйомністю. Тоді, для забезпечення безперервності та узгодженості технологічного процесу на етапі «підбирання сіна з формуванням рулонів – транспортування рулонів із поля до місця вивантаження», необхідно виконати умову рівності сумарної годинної продуктивності прес-підбирачів і транспортних засобів, тобто:

$$W_{\text{пр-п}} n_{\text{пр-п}} = W_{\text{тр}} n_{\text{тр}}. \quad (2.4)$$

З урахуванням виразів (2.1), (2.2) та (2.3) рівняння (2.4) можна подати в такому вигляді:

$$0,1B_p v_p \tau \gamma n_{\text{пр-п}} = \frac{q_n \gamma}{t_{\text{ц}}} n_{\text{тр}}. \quad (2.5)$$

Із співвідношення (2.5) визначимо тривалість циклу $t_{\text{ц}}$ у такому вигляді:

$$t_{\text{ц}} = q_n \gamma n_{\text{тр}} / 0,1B_p v_p \tau \gamma n_{\text{пр-п}}. \quad (2.6)$$

Тривалість циклу роботи транспортного засобу визначається наступним виразом:

$$t_{\text{ц}} = t_n + t_p + t_z + t_x, \quad (2.7)$$

де t_n , t_p – відповідно тривалість операцій навантаження та розвантаження транспортного засобу, год.;

t_z , t_x – час руху транспортного засобу відповідно з вантажем та у зворотному напрямку без вантажу, год.

Тривалість виконання вантажно-розвантажувальних операцій автомобілем становить:

$$t_n + t_p = \frac{q_n}{W_n} + \frac{q_n}{W_p} = \frac{q_n(W_n + W_p)}{W_n \cdot W_p}. \quad (2.8)$$

Тривалість переміщення автомобіля на маршруті визначається за таким співвідношенням:

$$t_r + t_x = \frac{l_r}{v_r} + \frac{l_x}{v_x} = \frac{l_r v_x + l_x v_r}{v_r \cdot v_x}. \quad (2.9)$$

Якщо припустити, що відстань, яку долає автомобіль з вантажем, дорівнює довжині шляху його повернення без вантажу $l_z = l_x$, тоді маємо:

$$t_r + t_x = \frac{l_r(v_r + v_x)}{v_r \cdot v_x}.$$

Тоді

$$t_{\Pi} = \frac{q_n(W_{\Pi}+W_p)}{W_{\Pi} \cdot W_p} + \frac{l_{\Gamma}(v_{\Gamma}+v_x)}{v_{\Gamma} \cdot v_x}. \quad (2.10)$$

Визначивши з виразу (2.5) величину t_{Π} та прирівнявши її до виразу (2.10), одержимо таке співвідношення:

$$\frac{q_n \gamma n_{\text{тр}}}{0,1 B_p v_p \tau \gamma n_{\text{пр-п}}} = \frac{q_n(W_{\Pi}+W_p)}{W_{\Pi} \cdot W_p} + \frac{l_{\Gamma}(v_{\Gamma}+v_x)}{v_{\Gamma} \cdot v_x}. \quad (2.11)$$

Із співвідношення (2.11) можна визначити наступний вираз:

$$l_{\Gamma} = q_n \left[\frac{\gamma n_{\text{тр}}}{0,1 B_p v_p \tau \gamma n_{\text{пр-п}}} - \frac{(W_{\Pi}+W_p)}{W_{\Pi} \cdot W_p} \right] \cdot \frac{v_{\Gamma} \cdot v_x}{(v_{\Gamma}+v_x)}. \quad (2.12)$$

Беручи до уваги поняття середньої гармонійної продуктивності вантажно-розвантажувального процесу, можна сформулювати таке узагальнене положення:

$$W_{\Pi-p} = \frac{2W_{\Pi} \cdot W_p}{W_{\Pi} + W_p}, \quad (2.13)$$

а також враховуючи величину середньої гармонійної швидкості руху, отримуємо відповідне узагальнення:

$$v_{\Gamma-x} = \frac{2v_{\Gamma} \cdot v_x}{v_{\Gamma} + v_x}, \quad (2.14)$$

одержуємо співвідношення, яке дозволяє визначити значення відстані l_{Γ} :

$$l_{\Gamma} = \frac{q_n v_{\Gamma-x}}{2} \left[\frac{\gamma n_{\text{тр}}}{0,1 B_p v_p \tau \gamma n_{\text{пр-п}}} - \frac{2}{W_{\Pi-p}} \right]. \quad (2.15)$$

Таким чином, наведена методика дозволяє обґрунтувати довжину транспортного маршруту автомобіля та продемонструвати взаємозв'язок цього показника з загальною ефективністю технологічного процесу.

2.3. Обґрунтування показників ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах

Ефективність застосування машин для транспортування рулонованого сіна доцільно визначати за системою показників, обчислення яких є завданням диференційованого методу оцінювання. Суть цього методу полягає у порівнянні фактичних значень показників ефективності транспортування грубого корму з найкращими еталонними значеннями, прийнятими як база для

порівняння.

Під час формування переліку показників ефективності використання машин для перевезення грубого корму в рулонах до них висувалися такі вимоги:

1. Значущість кожного показника у загальній системі оцінки. Обирають лише ті показники, що справляють найбільший вплив на результативність технологічного процесу транспортування.

2. Урахування реального рівня досягнутих значень показників, що забезпечує коректність порівнянь.

3. Можливість підвищення показників у результаті технічних або організаційних заходів, як на етапі проєктування технології, так і під час її практичної реалізації.

4. Універсальність, тобто можливість застосування обраних показників для оцінювання аналогічних технологічних процесів у сільському господарстві.

5. Логічна узгодженість структури: показники повинні бути однорідними, не дублювати один одного та не створювати надлишкової інформації.

6. Сумісність показників ефективності з показниками якості технологічного процесу.

7. Перевірюваність результатів, можливість повторити оцінювання та переконатися в достовірності отриманих даних.

8. Практична придатність результатів для використання у виробничих умовах.

Відповідно до зазначених вимог було визначено склад та структуру показників ефективності транспортування грубого корму в рулонах.

Для формування сукупності цих показників застосовано метод експертних оцінок, що дозволив поєднати як якісні характеристики показників, так і практичний досвід фахівців у галузі заготівлі грубих кормів. До експертизи було залучено інженерів, агрономів та економістів, діяльність яких безпосередньо пов'язана зі збиранням сіна, формуванням рулонів і

транспортуванням їх до місця зберігання або реалізації.

Експерти були об'єднані в групи змішаного професійного складу. Кожна група проводила інтуїтивно-логічний аналіз питань, поставлених у межах експертизи. Основна мета експертного оцінювання — отримати достовірну інформацію щодо впливу кожного показника на загальну ефективність процесу транспортування рулонованого сіна.

За результатами попереднього опитування фахівців із заготівлі сіна із великого набору можливих показників було відібрано такі:

- продуктивність транспортного засобу;
- собівартість перевезення одного рулону на 1 км;
- коефіцієнт використання вантажопідйомності;
- трудомісткість розвантаження одного рулону;
- питома металоємність транспортного засобу (кг/км·рул.);
- пошкоджуваність рулонів;
- втрати сіна.

Подальший аналіз показав, що продуктивність транспортного засобу та використання вантажопідйомності є взаємопов'язаними, оскільки визначаються однаковими чинниками (див. формулу 2.1). Тому одночасне застосування обох показників призводить до їх якісного дублювання. З метою уникнення надлишкових показників було прийнято використовувати лише коефіцієнт використання вантажопідйомності, оскільки він є легко вимірюваним і може бути перевірений у повторних дослідженнях.

Щодо втрат сіна, то аналіз багаторічних спостережень засвідчив, що втрати виникають переважно при перевезенні з поля, коли рулони не закріплені або відбулося перевантаження транспортного засобу. При транспортуванні до місця реалізації втрат практично не фіксується. Тому цей показник було виключено з подальшої оцінки.

У результаті відбору та ранжування остаточно визначено такі одиничні показники ефективності транспортування грубого корму в рулонах:

- 1) собівартість перевезення одного рулону на 1 км, C , грн./км·рул.;
- 2) коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу, γ ;
- 3) трудомісткість розвантаження одного рулону, T , люд.·год.;
- 4) питома металоємність транспортного засобу, $M_{\text{нмт.}}$, кг/км·рул.;
- 5) пошкоджуваність рулонів, Π , %.

Оброблення експертної інформації проводилося із застосуванням відповідного математичного апарату. Експерти здійснювали ранжування показників за ступенем їх значущості. Для цього використовувалося пряме ранжування, коли найкращому показнику присвоюється ранг 1, а наступним — 2, 3, ..., m .

Далі виконувалася обробка переваг кожного експерта, аналіз рангів, визначення узгодженості думок і формування колективної оцінки. У межах процедури оцінювалися коефіцієнти рангової кореляції ρ Спірмена, які дозволяли встановити ступінь узгодженості та незалежності експертних думок:

$$\rho = 1 - \frac{6}{m(m^2-1)} \sum_{i=1}^m (r_{1i} - r_{2i})^2, \quad (2.16)$$

де m — кількість показників;

r_{1i} і r_{2i} — ранги, присвоєні відповідно першим і другим експертом i -му показнику.

Значення коефіцієнта рангової кореляції ρ може змінюватися в межах від -1 до $+1$. При $\rho = +1$ ранжування повністю збігаються, при $\rho = -1$ — є протилежними, а за $\rho = 0$ — ранги не виявляють лінійної залежності.

Результати обчислення коефіцієнтів рангової кореляції для всіх можливих пар експертів наведені у розділі 4.

Критична область значень коефіцієнта ρ визначається умовою $\rho > \rho^\alpha$, що еквівалентно виконанню нерівності [29]:

$$S_\rho < S_\alpha, \quad (2.17)$$

де
$$S_\rho = \frac{m(m^2-1)}{6} (1 - \rho).$$

З урахуванням виразу (2.2) це співвідношення можна подати у такій формі:

$$\alpha = \{S_p < S_\alpha/m\} = P\{S_p \geq S_{max} - S_\alpha/m\}. \quad (2.18)$$

Значення S_{max} і S_{min} є табличними [29]. Чим більшою є ймовірність P на прийнятому (5%-вий, тобто $\alpha = 0,05$) им більш обґрунтованою є гіпотеза щодо незалежності оцінок експертів.

Результати проведених розрахунків показали, що для всіх розглянутих випадків виконується умова $\alpha_i > \alpha = 0,05$.

Це свідчить про те, що думки експертів є статистично незалежними, а отже, можуть бути використані для формування колективної оцінки.

Узагальнена групова думка експертів, отримана шляхом опрацювання їхніх індивідуальних рангових вподобань, визначалася на основі середнього значення коефіцієнтів Спірмена [29]:

$$\rho = 2 \sum \rho_i / n(n-1). \quad (2.19)$$

У результаті проведених обчислень встановлено, що груповий коефіцієнт рангової кореляції становить $\rho = 0,818$, що підтверджує високий ступінь узгодженості експертних оцінок.

Подальше опрацювання даних із використанням методу відносних частот дало змогу визначити коефіцієнти важливості кожного з показників ефективності транспортування грубого корму в рулонах [29]:

$$\alpha_i = \sum_{l=1}^n r_j^l / \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m r_j^l, \quad (2.20)$$

де r_j^l – ранг, присвоєний j -му одиничному (окремому) показнику l -м експертом із загальної групи чисельністю m .

При цьому необхідно враховувати, що найвищий (найбільш бажаний) показник отримує ранг $(m-1)$, тоді як найменш значущий — ранг 0. Крім того, виконується умова нормування: $\sum \alpha_i = 1$, тобто сума всіх коефіцієнтів важливості дорівнює одиниці.

Таким чином, оцінювання ефективності використання машин для транспортування сіна в рулонах доцільно проводити у двох формах:

- диференційовано — за кожним одиничним показником окремо;
- комплексно — за допомогою інтегрального критерію, сформованого з

урахуванням вагомості (важливості) кожного показника ефективності.

Висновки до розділу

1. Розроблено послідовну схему етапів оцінювання ефективності застосування машин для транспортування грубого корму в рулонах.

2. Запропоновано класифікацію факторів, що визначають ефективність роботи транспортних засобів для перевезення рулонованого сіна, шляхом їх поділу на дві основні групи: конструктивно-технологічні та експлуатаційно-організаційні.

3. Обґрунтовано систему показників ефективності використання машин для транспортування грубого корму в рулонах. До переліку ключових показників включено:

- собівартість транспортування одного рулону сіна на 1 км;
- коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу;
- трудомісткість розвантаження одного рулону;
- питому металоємність транспортного засобу;
- пошкоджуваність рулонів під час транспортування.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІНА В РУЛОНАХ

3.1. Розмірно-масові характеристики рулонів сіна

Розмірно-масові характеристики рулонів сіна є необхідними для розрахунку ряду показників, що описують ефективність роботи транспортних засобів, зокрема кількість рулонів, які може перевезти одна машина, а також для формування вихідних вимог до проектування транспортної платформи.

Відповідно до поставлених у роботі мети та завдань виникає потреба визначити основні розмірно-масові параметри рулонів сіна — масу одного рулону (m_p), його діаметр (D_p) і висоту (H_p) рулону. Для забезпечення достовірності результатів дослідження розмірно-масові характеристики визначалися лише для тих рулонів, які були сформовані одним і тим самим прес-підбирачем, в один день і на одному полі.

У дослідженні використовувалися рулони, сформовані прес-підбирачами ПР-Ф-110 та ППР-120 «Pelikan», що є одними з найпоширеніших у господарствах Вінницької області. Перед проведенням досліджень обидві машини були налаштовані на встановлену щільність пресування.

Вологість сіна коливалася в межах $\pm 1\%$. Визначення вологості здійснювали відповідно до вимог ГОСТ 27548–97 [10]. Проби відбиралися чотириразово.

Вологість матеріалу у пробах визначалася із застосуванням аналізатора вологості «ЕЛВІЗ-2С» (рис. 3.1). Для аналізу брали навішування масою 3...5 г. Сіно подрібнювали і висушували до абсолютно сухого стану за температури 105 °С. Завершення висушування фіксувалося самим аналізатором автоматично. Прилад реєстрував масу навішування до та після сушіння і за цими значеннями обчислював вологість сіна.

Під час визначення вологості використовувалася формула:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%, \quad (3.1)$$

де m_1 – початкова маса навішування, г;

m_2 – маса навішування після висушування, г.

Масу сформованого рулону визначали шляхом його зважування на електронних вагах Скейл 2СКП 1515 (СКІ-А-12Е) з точністю вимірювання до 1,0 кг.



Рисунок 3.1 – Аналізатор вологості «ЕЛВІЗ-2С».

Діаметр та висоту рулону визначали за допомогою спеціально виготовленого вимірювального пристрою, оснащеного шкалою. Похибка вимірювання становила 5 мм.

У дослідженні прийнято, що діаметр рулону D_p (рис. 3.2) відповідає максимальному значенню діаметра, яке фіксується після деформації рулону під час його вивантаження з прес-підбирача. Висота рулону H_p відповідно, визначається як мінімальне значення діаметра після вивантаження.

Вимірювання діаметра та висоти рулону проводили у двох діаметрально протилежних напрямках для забезпечення достовірності результатів.

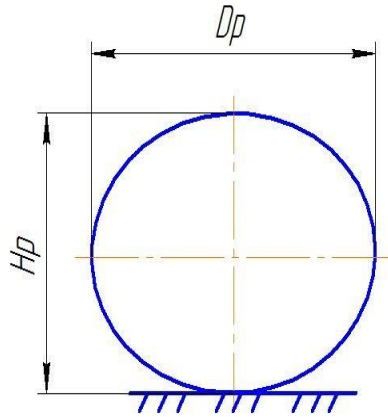


Рисунок 3.2 – Схема визначення діаметра та висоти рулону.

Отримані результати вимірювань опрацьовували із застосуванням методів математичної статистики [11] з використанням персональної електронно-обчислювальної машини.

Оскільки обрані параметри рулонів мають кількісну варіабельність, вони потребують статистичної обробки. У зв'язку з цим кожен рулон сіна, відібраний на дослідній ділянці, аналізували окремо.

Довірчий інтервал для вибіркової середньої, обчисленої за результатами серії вимірювань, відповідно до [6], визначають за формулою:

$$\bar{x} \pm \frac{tS}{\sqrt{n}}, \quad (3.2)$$

де $\bar{x}$ – вибіркове середнє значення параметра;

t – критерій Стюдента, визначений для вибраного рівня довірчої ймовірності;

S – середньоквадратичне (стандартне) відхилення;

n – обсяг вибірки..

Щоб забезпечити, аби похибка вибірки не перевищувала допустимого значення, враховують, що граничну помилку визначення середнього значення можна обчислити за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \frac{tS}{\sqrt{n}}, \quad (3.3)$$

Звідси обсяг вибірки може бути визначений на основі залежності, наведеної у [6], а саме:

$$n = \frac{t^2 S^2}{S_{\bar{x}}^2}. \quad (3.4)$$

Беручи до уваги значення критерію Стюдента: $t_{0,5} = 2$ для довірчої ймовірності 95% та $t_{0,1} = 3$ для довірчої ймовірності 99% (що відповідає рівням значущості 5% і 1% відповідно), можна записати такі формули:

$$n_{0.5} = \frac{4S^2}{S_{\bar{x}}^2}, \quad (3.5)$$

$$n_{0.1} = \frac{9S^2}{S_{\bar{x}}^2}. \quad (3.6)$$

У наведених формулах як дисперсія, так і величина похибки можуть бути подані як в абсолютних значеннях, так і у відносних величинах (наприклад, у відсотках).

Для визначення необхідного обсягу вибірки слід мати уявлення про варіабельність досліджуваної ознаки (S), та заздалегідь обрати допустиме значення похибки ($S_{\bar{x}}$). Рекомендується, щоб величина цієї похибки була у 2...3 рази меншою за середні очікувані значення порівнюваних сукупностей [6]:

$$S_{\bar{x}} = \frac{HCP}{2...3}, \quad (3.7)$$

де HCP – найменша істотна різниця між середніми значеннями порівнюваних показників. Для сільськогосподарських культур цю величину рекомендується приймати за **5% рівня значущості** [6].

Отже, якщо проводиться оцінювання, наприклад, маси рулону, і відомо, що стандартне відхилення становить $S = 0,2\%$, а допустима похибка $S_x = 0,02\%$ і то для рівня значущості 5% необхідно зважити: $n_{0,5} = 4 \cdot 0,02^2 / 0,004^2 = 100$ рулонів.

Відповідно до прийнятої методики, було проведено зважування **100 рулонів**, сформованих прес-підбирачем **ПР-Ф-110**, і **100 рулонів**, вироблених прес-підбирачем **ППР-120 «Pelikan»**.

Перед проведенням досліджень обидва прес-підбирачі були відрегульовані на задану щільність пресування сіна для отримання рулонів масою приблизно **150 кг** (ПР-Ф-110) та **250 кг** (ППР-120 «Pelikan»).

Кількість інтервалів статистичного ряду визначали за формулою: $N_u = \sqrt{N}$, тут N – загальна кількість вимірювань [11]. У нашому випадку 10 інтервалів.

Розмір одного інтервалу визначався за залежністю:

$$\Delta W = \frac{(m_{p.max} - m_{p.min})}{N_u}, \quad (3.8)$$

де $m_{p.max}, m_{p.min}$ – відповідно найбільше та найменше значення маси рулону в дослідній вибірці.

Для рулонів, виготовлених прес-підбирачами ПР-Ф-110 та ППР-120 «Pelikan», інтервальна ширина становила $\Delta W = 5$ кг.

Графічне відображення результатів варіювання маси рулонів наведено на рис. 3.3 та рис. 3.4.

За результатами статистичної обробки встановлено, що математичне сподівання маси рулону, сформованого прес-підбирачем ПР-Ф-110, дорівнює 147 кг, а для прес-підбирача ППР-120 «Pelikan» — 248 кг.

Середньоквадратичне відхилення маси рулону обчислювали за формулою [11]:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum (m_i - m_{cp})^2}{N}} \quad (3.9)$$

де m_i – фактичне (поточне) значення маси i -го рулону;

m_{cp} – середнє значення маси рулону, визначене за вибіркою.

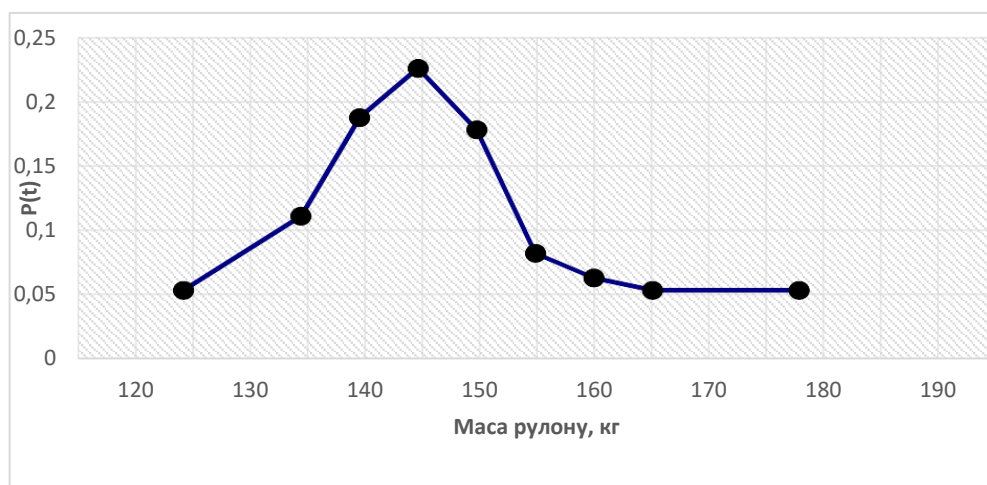


Рисунок 3.3 – Варіація маси рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110.

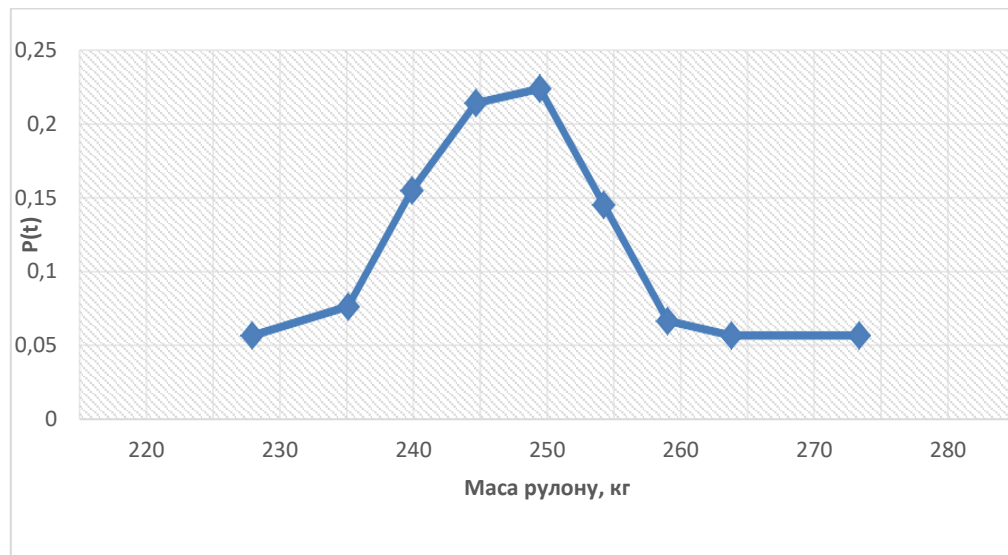


Рисунок 3.4 – Варіація маси рулонів, сформованих прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan».

Результати обчислень показали, що для рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110, середньоквадратичне відхилення становить $\sigma_{m1} = 13$ кг, для рулонів, отриманих прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan» – $\sigma_{m2} = 11$ кг.

З аналізу отриманих даних випливає, що обидва прес-підбирачі забезпечують пресування рулонів сіна з точністю, наближеною до розрахункових значень. Окрім того, менше варіювання маси рулонів, сформованих прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan», свідчить про вищу стабільність роботи цього агрегата порівняно з ПР-Ф-110.

Згідно з методикою дослідження було проведено вимірювання геометричних параметрів 100 рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110, і 100 рулонів, виготовлених прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan». Графічні залежності зміни діаметра та висоти рулонів наведено на рис. 3.5 та рис. 3.6.

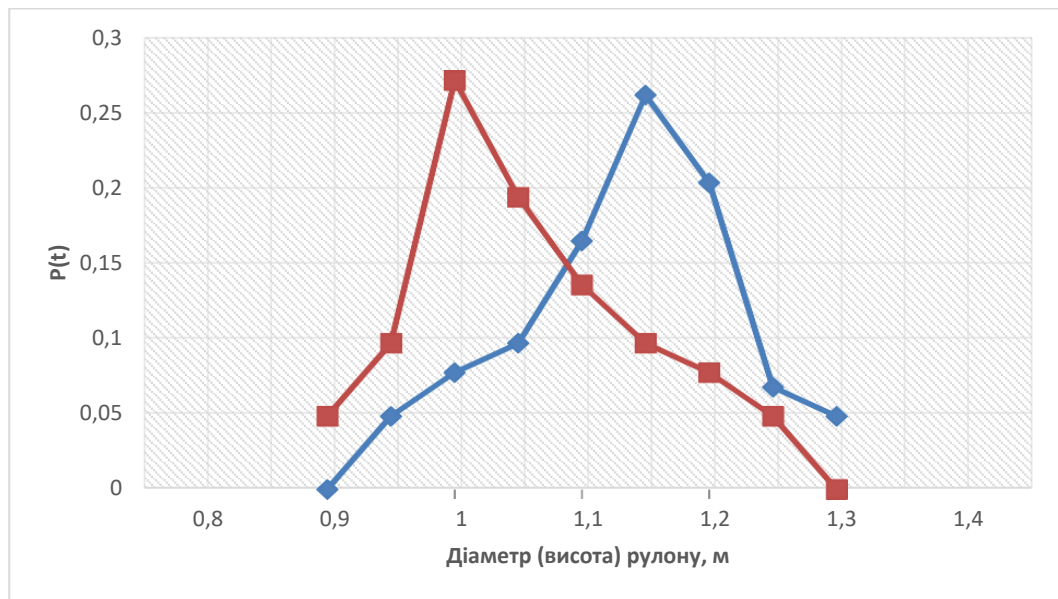


Рисунок 3.5 – Варіація діаметра (1) та висоти (2) рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110.

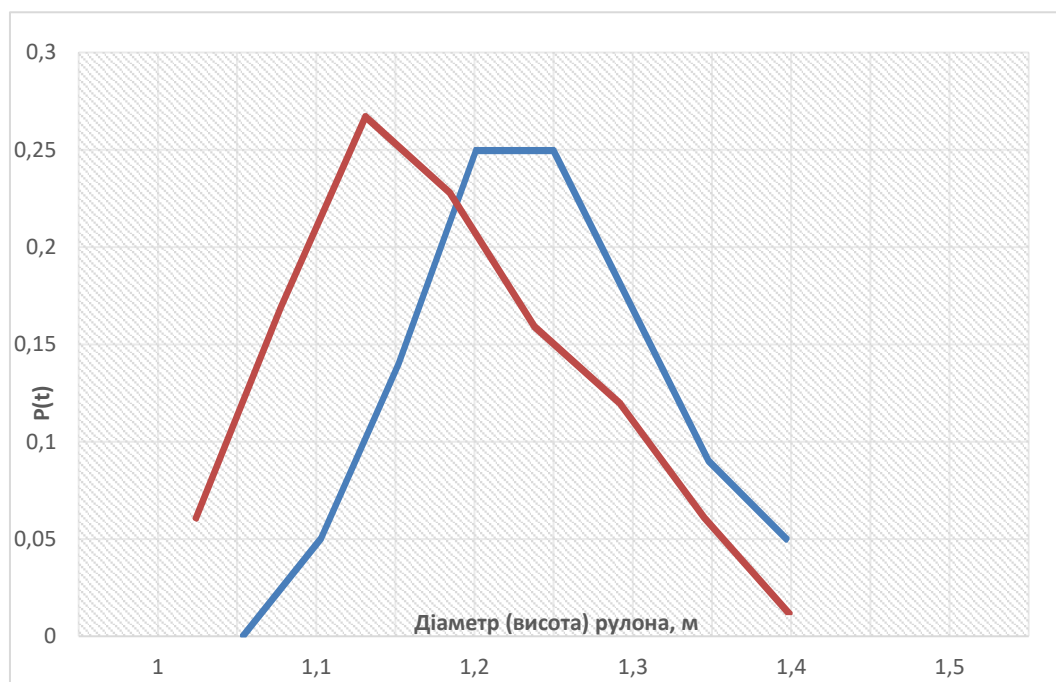


Рисунок 3.6 – Варіація діаметра (1) та висоти (2) рулонів, сформованих прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan».

Встановлено, що математичне сподівання діаметра рулону, сформованого прес-підбирачем ПР-Ф-110, становить 1,13 м, а середнє значення його висоти дорівнює 1,08 м. Для рулонів, виготовлених прес-підбирачем ППР-120 «Pelikan», ці показники становлять відповідно 1,24 м та 1,20 м.

Було також обчислено середню *еліпсність* рулонів — різницю між їхнім діаметром і висотою. Отримані значення свідчать, що еліпсність є незначною, що узгоджується зі значеннями середньоквадратичних відхилень діаметра та висоти. Останні визначалися за формулою, аналогічною до формули (3.9). Для рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110, стандартні відхилення становлять 0,11 м та 0,09 м, а для рулонів, отриманих за допомогою ППР-120 «Pelikan», — 0,08 м та 0,07 м відповідно.

Менші значення стандартних відхилень для рулонів, сформованих ППР-120 «Pelikan», порівняно з ПР-Ф-110, свідчать про їхню вищу однорідність. Імовірною причиною є більший ступінь ущільнення сіна прес-підбирачем «Pelikan», що забезпечує більш стабільну геометрію рулону.

Таким чином, після падіння з прес-підбирача рулони змінюють свою форму з ідеально циліндричної на *еліптичний циліндр*. Дослідження показали, що зі зменшенням щільності пресування еліпсність рулонів зростає, а після перебування на полі протягом більше ніж доби її величина практично не змінюється.

3.2. Результати хронометражу транспортування і розвантаження рулонів сіна

Для вирішення поставлених у роботі завдань, пов'язаних з оцінюванням показників та обчисленням комплексного критерію ефективності транспортування грубого корму в рулонах, необхідно визначити такі параметри:

- середню кількість рулонів сіна, що транспортуються різними видами транспортних засобів від прес-підбирачів, які функціонують у господарстві, за один рейс та впродовж усього періоду досліджень;
- кількість рейсів, виконаних транспортними засобами під час перевезення рулонів, сформованих різними марками прес-підбирачів;

- фактичну відстань транспортування рулонів;
- пробіг автомобілів та напрацювання тракторів у мотогодинах як за окремий рейс, так і сумарно за весь період перевезень;
- витрати палива, мастильних матеріалів та інших технічних рідин;
- пошкодження шпагату, яке призводить до руйнування рулонів під час навантаження, транспортування та розвантаження;
- тривалість розвантаження транспортного засобу та кількість працівників, задіяних у виконанні цієї операції;
- кількість технічних обслуговувань за видами та обсягом використаних витратних матеріалів.

Усі перелічені параметри можуть бути встановлені шляхом проведення хронометражу використання транспортних засобів.

У дослідженні застосовувався вибірковий хронометраж, коли фіксували лише ті елементи оперативного часу роботи транспортних агрегатів, що необхідні для визначення кількості перевезених рулонів та тривалості їх розвантаження. Дані спостережень заносилися у спеціальні бланки, розроблені відповідно до вимог ГОСТ 24055-80 та ГОСТ 24059-80. Первинна обробка інформації передбачала розподіл витрат оперативного часу за встановленими категоріями, після чого виконували їх аналіз [9].

Паралельно застосовувався й метод моментних спостережень, призначений для репрезентативної оцінки характеристик генеральної сукупності на основі вивчення вибіркової. Використання цього методу дало можливість суттєво зменшити трудомісткість дослідження процесів великої масовості. При цьому витрати часу та коштів практично не збільшувалися порівняно з суцільним хронометражем, а обсяг вибірки — навпаки — зростав, що підвищувало достовірність отриманих результатів.

Основним документом для фіксації даних був спостережний лист. Додатково вели журнал спостережень, у якому зазначалися необхідні пояснення. Для реєстрації результатів вимірювання розмірно-масових

характеристик рулонів були розроблені спостережні листи окремої форми.

Хронометраж проводили згідно з вимогами ГОСТ 28722-90 (СТ РЕВ 6944-89), ГОСТ 26026, а також стандартів СТ СЕВ 292, СТ РЕВ 878, СТ РЕВ 4492, ГОСТ 12.2042, СТ РЕВ 1850, СТ РЕВ 3087, ГОСТ 20915 та інших нормативних документів, що регламентують методи випробування сільськогосподарської техніки.

У журналі досліджень зазначали:

1. Характеристику поля, з якого здійснювали вивезення рулонів (рельєф, ухил тощо);
2. Властивості доріг, якими здійснювалося транспортування (тип покриття, ухили на підйомах і спусках тощо);
3. Середні величини розмірно-масових параметрів рулонів;
4. Середню вологість рулонованого сіна;
5. Технічні характеристики транспортних засобів (марка, тип, вантажопідйомність).

За кожним транспортним засобом закріплювався хронометражист, який за допомогою секундоміра фіксував тривалість операцій та заносив дані у спостережні листи. Перед початком роботи всі хронометражисти проходили інструктаж.

У процесі обліку визначали такі параметри роботи транспортних агрегатів: транспортну швидкість (км/год), довжину та кількість переїздів без навантаження по полю тощо. Спостереження тривали протягом трьох збиральних сезонів.

Після завершення зміни здійснювалася попередня обробка хронокарт: формували хронометражні ряди за кількістю перевезених рулонів, тривалістю руху по різних типах доріг, тривалістю розвантаження транспортних засобів та ін. За отриманими рядами формували статистичні сукупності параметрів та проводили їх статистичну обробку, включно з обчисленням коефіцієнтів варіації та побудовою гістограм. Обчислення здійснювали за допомогою Microsoft Excel.

Хронометраж проводився під час транспортування рулонів серійними транспортними засобами: МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302 «Газель», ГАЗ-САЗ-3507/35071, КАМАЗ-45144, а також при роботі машин, оснащених спеціальною платформою.

Згідно зі спеціальною методикою було визначено середню кількість рулонів, що перевозяться окремими транспортними засобами протягом року залежно від відстані до місця зберігання та реалізації (табл. 3.1).

Результати хронометражу засвідчили, що протягом одного збирального сезону в господарстві пресували 8326 рулонів сіна, виготовлених прес-підбирачами ПР-Ф-110 та ППР-120 «Pelikan». Усі рулони транспортували до місця зберігання.

З них лише 10 рулонів було використано для годівлі власної худоби, а решта — реалізовані.

Понад 83,7% загального обсягу рулонів на відстань до 3 км (з поля до місця зберігання) перевозили автомобілі ГАЗ-3302 «Газель» та ГАЗ-САЗ-3507/35071.

Таблиця 3.1 – Середня кількість рулонів, які перевозяться транспортним засобом

Марка транспортного засобу	Показник	Кількість перевезених рулонів на відстань		
		До 3 км	Від 3 км до 20 км	Від 20 км до 100 і більше
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4.5	всього	1361	-	-
	На один ТЗ за один рейс від ПР-Ф-110	14,2	-	-
	На один ТЗ за один рейс від ППР-120	12,7	-	-
ГАЗ-3302 «Газель»	всього	3991	1406	1072
	На один ТЗ за один рейс від ПР-Ф-110	9,28	8,9	8,6
	На один ТЗ за один рейс від ППР-120	5,71	5,2	4,8
ГАЗ-САЗ-3507/35071	всього	2974	704	-
	На один ТЗ за один рейс від ПР-Ф-110	10,1	8,2	-
	На один ТЗ за один рейс від ППР-120	10,6	9,0	-
КАМАЗ-45144	всього	-	-	5124

з причепом	На один ТЗ за один рейс від ПР-Ф-110	-	-	38,1
	На один ТЗ за один рейс від ППР-120	-	-	36,7

Розподіл рулонованого силосу при його реалізації в найближчих населених пунктах у більшості випадків (66,6%) здійснювався автомобілем ГАЗ-3302 «Газель».

При транспортуванні рулонів сіна на значні відстані основне навантаження (82,7%) припадало на автомобіль КАМАЗ-45144 з причепом.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що зі збільшенням відстані перевезення рулонів сіна, сформованих прес-підбирачами ПР-Ф-110 і ППР-120 «Pelikan», кількість рулонів, перевезених транспортними засобами ГАЗ-3302 «Газель» і ГАЗ-САЗ-3507/35071 за один рейс, поступово зменшується.

Важливо зауважити, що в ряді випадків кількість рулонів, яку можна було перевезти за один рейс, обмежувалася граничними габаритами транспортного засобу з вантажем, дозволеними правилами дорожнього руху. Окрім того, механізатор, який працював на машинно-тракторному агрегаті МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, а також водії автомобілів мали великий практичний досвід та високу кваліфікацію, що позитивно впливало на організацію перевезень рулонів протягом багатьох років.

Одним із ключових завдань хронометражу була оцінка тривалості розвантаження транспортних засобів. До загального часу розвантаження входили не лише основні операції з вивантаження рулонів, але й допоміжні дії: під'їзд транспортного засобу до місця розвантаження з елементами маневрування, а також його від'їзд після завершення операцій. У склад основного часу також включали:

- відкривання та закривання борта,
- увімкнення та вимкнення системи вивантаження (для самоскидних машин).

При цьому слід підкреслити, що жодні додаткові засоби механізації для розвантаження рулонів не використовувалися.

Оброблені результати витрат часу за окремими елементами розвантажувальних операцій узагальнено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати хронометражу розвантаження транспортних засобів

Марка транспортного засобу	Елементи витрат часу зміни	Частка, %	Середнє значення, с	Середнє Квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4.5	Під'їзд	60,8	581	111,2	0,19
	Розгрузка	19,4	185	15,4	0,08
	Від'їзд	19,8	189	19,4	0,10
ГАЗ-3302 «Газель»	Під'їзд	28,6	176	19,5	0,11
	Розгрузка	48,5	298	27,2	0,15
	Від'їзд	22,9	141	28,1	0,09
ГАЗ-САЗ-3507/35071	Під'їзд	49,5	246	34,5	0,14
	Розгрузка	21,7	108	15,9	0,15
	Від'їзд	28,8	143	11,8	0,08
КАМАЗ-45144 з причепом	Під'їзд	49,2	439	81,0	0,18
	Розгрузка	26,1	233	25,4	0,11
	Від'їзд	24,7	221	35,6	0,16

1. Час під'їзду транспортного засобу до місця розвантаження та його від'їзд після завершення операцій становлять значну частку загальних витрат часу. Ця особливість характерна для всіх досліджених транспортних засобів. Тривалість даних операцій залежить від низки чинників: умов під'їзду, професійної майстерності водія, довжини транспортного засобу, наявності вільного простору для маневрування та інших експлуатаційних обставин.

2. Найбільший час фактичного вивантаження рулонів зафіксовано у бортового автомобіля ГАЗ-3302 «Газель», оскільки видалення рулонів із кузова здійснювалося вручну методом зіштовхування, без застосування механізованих засобів.

3. Тривалість розвантаження рулонів лише з кузова автомобіля КАМАЗ-

45144 або тільки з його причепа лише незначно перевищує аналогічний час для автомобіля ГАЗ-САЗ-3507/35071. Однак важливо врахувати, що КАМАЗ-45144 без причепа здатний транспортувати на 10–12 рулонів більше, ніж ГАЗ-САЗ-3507/35071, що суттєво підвищує його експлуатаційну ефективність на тривалих маршрутах.

Висновки до розділу

1. Оцінювання розмірно-масових параметрів рулонів сіна здійснювалося із застосуванням методики, що базується на статистичному аналізі варіабельності досліджуваних показників. Такий підхід забезпечує достовірність результатів і дозволяє коректно інтерпретувати природні коливання параметрів рулонів.

2. У ході математичної обробки експериментальних даних встановлено такі характеристики:

– Маса рулонів. Для прес-підбирача ПР-Ф-110 середнє значення маси становить 147 кг при стандартному відхиленні 13 кг. Для прес-підбирача ППР-120 «Pelikan» математичне очікування дорівнює 248 кг, а середньоквадратичне відхилення – 11 кг.

– Габаритні параметри рулонів. За результатами вимірювань середній діаметр рулону, сформованого прес-підбирачем ПР-Ф-110, становить 1,13 м, а середня висота — 1,08 м. Для рулонів, одержаних з використанням ППР-120 «Pelikan», відповідні величини дорівнюють 1,24 м (діаметр) та 1,20 м (висота). Значення стандартних відхилень по діаметру і висоті для ПР-Ф-110 становлять 0,11 м та 0,09 м, тоді як для ППР-120 «Pelikan» — 0,08 м та 0,07 м, що свідчить про більш рівномірне пресування сіна даною машиною.

– Тривалість розвантаження. Середній час вивантаження рулонів із бортового автомобіля ГАЗ-3302 «Газель» склав 298 с, що суттєво перевищує тривалість аналогічних операцій на самоскидних транспортних засобах. Це зумовлено ручним характером розвантаження.

3. Розроблено науково обґрунтовані методики хронометражу, які дозволяють достовірно визначати структуру витрат часу при транспортуванні рулонів сіна різними транспортними агрегатами.

4. Запропоновано узагальнену методику комплексного оцінювання ефективності транспортних засобів для міжгосподарських, внутрішньогосподарських і позагосподарських перевезень рулонів сіна, сформованих прес-підбирачами двох типів.

5. Порівняльний аналіз коефіцієнта використання вантажопідйомності транспортних засобів МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302, ГАЗ-САЗ-3507/35071 і КАМАЗ-45144 із причепом показав:

- найвищий рівень використання вантажопідйомності забезпечує ГАЗ-3302 «Газель» при транспортуванні рулонів від прес-підбирача ППР-120 на дистанції до 3 км ($\gamma = 0,944$);

- найнижче значення коефіцієнта отримано для автомобіля КАМАЗ-45144 при перевезенні рулонів малої маси ($\gamma = 0,27$), що пояснюється невідповідністю об'єму кузова масі завантажуваних рулонів.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БОРТОВОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ОБЛАДНАНОГО ПЛАТФОРМОЮ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІНА В РУЛОНАХ

4.1. Платформа до бортового транспортного засобу для перевезення рулонів сіна і технологія їх вивантаження

На підставі опрацьованих науково-дослідних матеріалів щодо технологічних процесів транспортування рулонованого сіна, а також результатів проведених пошукових експериментів, було спроектовано та виготовлено дослідний зразок лабораторної платформи, призначеної для встановлення на бортовий транспортний засіб.

На рис. 4.1 наведено загальний вигляд експериментальної платформи, змонтованої на шасі бортового автомобіля «Газель». На рис. 4.2 подано принципову схему конструкції даної платформи, що відображає основні її елементи та особливості компонування.



Рисунок 4.1 – Експериментальна платформа, змонтована на шасі бортового автомобіля «Газель».

До основи 1 платформи (рис. 4.2) за допомогою шарнірних з'єднань кріпляться два бічні відкидні борти 2, висота яких менша за стандартні серійні аналоги. Кожен борт обладнаний фіксуючим механізмом 3 та важелем керування процесом розвантаження 4.

До вузла кріплення 6 у верхній частині борту 2 приєднано трос 5, який передає зусилля на рухомий брус 7 з установленим на ньому опорним щитом 12. Рухомий брус 7 здійснює переміщення по напрямних 8 і повертається у вихідну позицію під дією пружин 9.

У задній частині платформи розміщено похило встановлений задній борт 10, оснащений механізмом регулювання кута його нахилу. У початковому робочому стані рухомі бруси 7 знаходяться зміщеними до центральної поздовжньої осі платформи.

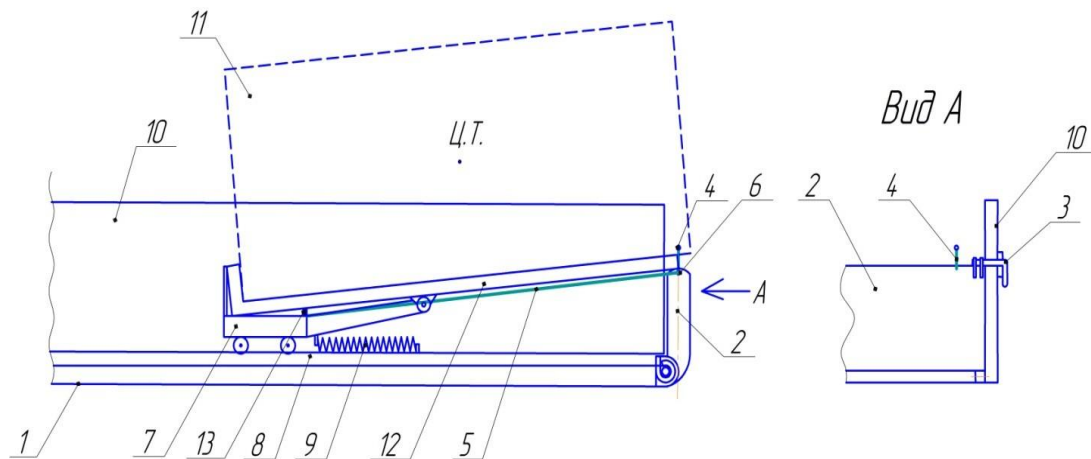


Рисунок 4.2. Схема експериментальної платформи:

1 – основа платформи; 2 – бічний відкидний борт; 3 – механізм фіксації борту; 4 – важіль керування процесом розвантаження; 5 – трос гнучкого зв’язку; 6 – вузол кріплення троса на верхній частині борту; 7 – рухомий брус; 8 – направляючі елементи; 9 – пружини повернення; 10 – задній борт; 11 – рулон сіна; 12 – опорний щит; 13 – механізм повернення рухомих елементів.

Замість стандартних серійних відкидних бортів на платформу встановлені борти 2 зменшеної висоти. Їх параметри підібрані таким чином, щоб рулони 11 надійно спиралися на опорний щит і розташовувалися з необхідним ухилом у

бік поздовжньої осі платформи.

Опорний щит 12 виконаний у вигляді зварної рамної конструкції (рис. 4.3), до складу якої входять горизонтальні труби 1 круглого або прямокутного перерізу, жорстко з'єднані між собою опорним листом 2. Опорний лист виготовлений із листової сталі та має вигин із радіусом $R_{рул.}$, що відповідає радіусу рулону сіна. Вертикальні стійки 3 приварені до горизонтальних труб 1 і додатково об'єднані між собою сталеву пластину 4 для підвищення загальної жорсткості конструкції.

Опорні щити монтуються на платформу окремо під кожен рулон нижнього ярусу, що забезпечує стійкість рулонів та їх правильне позиціонування під час транспортування.

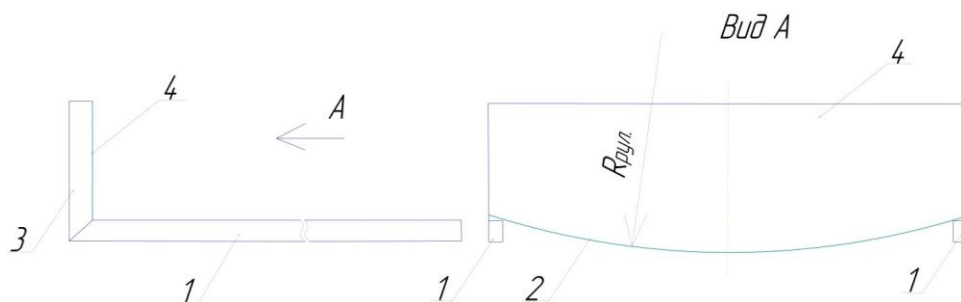


Рисунок 4.3 – Конструктивна схема опорного щита для фіксації рулонів сіна під час транспортування.

Технологічний процес розвантаження рулонів сіна з удосконаленої платформи відбувається за наступною схемою. Після відкривання одного з бокових бортів 2 через важіль керування розвантаженням 4 пов'язаний із ним рухомий брус 7 зміщується у бік краю платформи 1, при цьому пружини 9 стискаються. Унаслідок цього рулони 11, що опираються однією частиною на рухомий брус 7, а другою — на відкидний борт 2 через опорний щит, отримують нахил і поступово зміщуються до зовнішньої межі платформи 1.

Коли центр мас рулону 11 проходить край платформи 1, відбувається його самовивантаження на підготовлений майданчик. Після сходження рулону опорний щит за допомогою механізму повернення 13 автоматично повертається

у вихідне положення. Під час закривання бокового борту 2 стиснуті пружини 9 повертають рухомий брус 7 назад у початкову позицію. Далі за аналогічною схемою здійснюється вивантаження рулонів 11 сіна, що знаходяться на протилежному боці платформи 1.

На рисунку 4.4 наведено структурну схему процесу розвантаження рулонів із платформи.

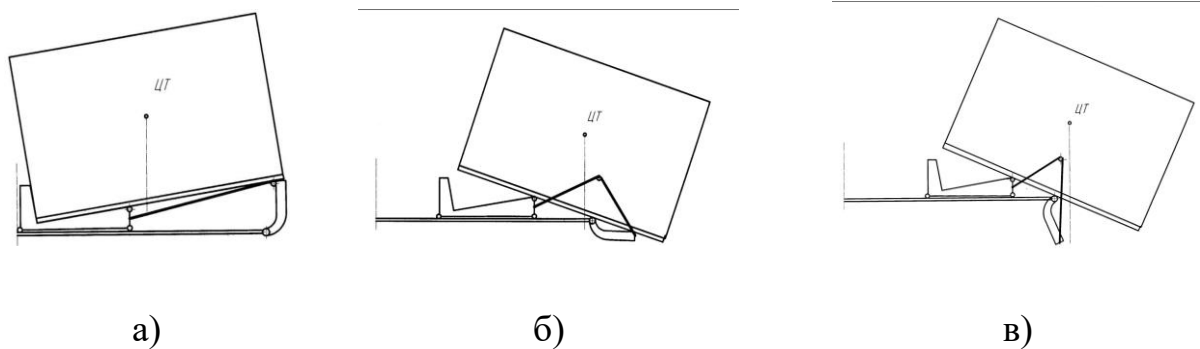


Рисунок 4.4. Технологічна схема процесу розвантаження рулонів:

а — вихідне транспортне положення рулону; б — проміжний етап переміщення рулону під час розвантаження; в — момент сходження рулону з платформи на майданчик.

Експериментальна платформа дає змогу змінювати низку конструктивних параметрів, зокрема висоту бічного борту, ширину рухомого бруса, положення шарнірних вузлів, що поєднують брус з опорним щитом, а також розміщення обвідних роликів. Окрім цього, конструкція передбачає регулювання жорсткості поворотних пружин та інших елементів, що впливають на процес розвантаження рулонів.

4.2. Методика планування багатофакторного експерименту

Дослідження роботи розробленої платформи виконували із застосуванням методу планування експерименту. При цьому було забезпечено дотримання основних вимог до варійованих факторів: їх незалежність, можливість кількісного вимірювання, регулювання в заданих межах та наявність впливу на обраний критерій оптимізації.

Як критерій оптимізації прийнято величину зусилля оператора, прикладеного до важеля механізму відкривання бокового борту платформи в момент початку процесу вивантаження рулону.

Для обґрунтування вибору факторів і визначення діапазону їх зміни виконано попередні теоретичні розрахунки геометричних параметрів платформи. Зокрема, встановлено залежність висоти борту H від зусилля на важелі P та низки геометричних характеристик конструкції. Методика визначення цієї залежності подана нижче.

Для аналізу приймемо загальний випадок, коли точка докладання сили оператора до борту не збігається ані з місцем кріплення троса на борту, ані з верхньою кромкою борту (рис. 4.5).

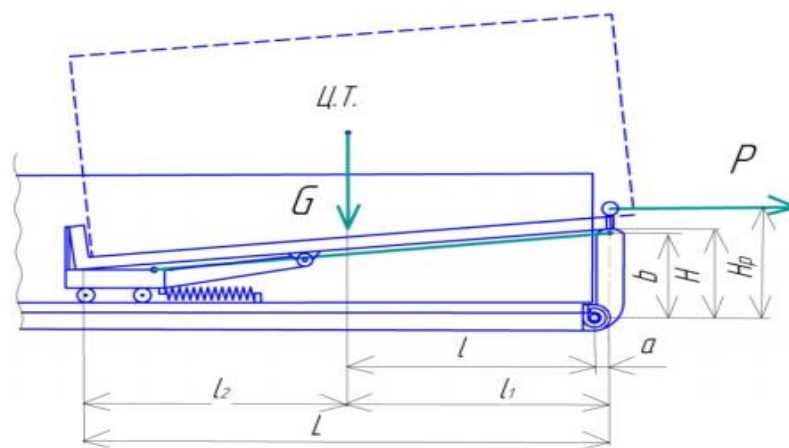


Рисунок 4.5 – Кінематична схема для визначення раціональної висоти бокового борту платформи.

Розглянемо умову рівноваги бічного відкидного борту в момент початку його відкривання. Приймемо, що трос, який з'єднує рухомий брус із бортом, закріплений у верхній частині борту, тобто відстань від точки приєднання троса до осі шарніра A дорівнює висоті борту: $b = H$ (рис. 4.6).

На відкидний борт діє сукупність сил:

- P — зовнішнє зусилля оператора, прикладене для відкривання борту;
- T — сила натягу троса, що передає рух на опорний щит і рухомий брус;

– F_1 — реакція тертя між опорним щитом і бортом у момент початку відхилення;

– G_1 — частина ваги рулону сіна разом із власною масою опорного щита, що передається на борт.

Опором у шарнірі А для спрощення розрахункової моделі знехтуємо.

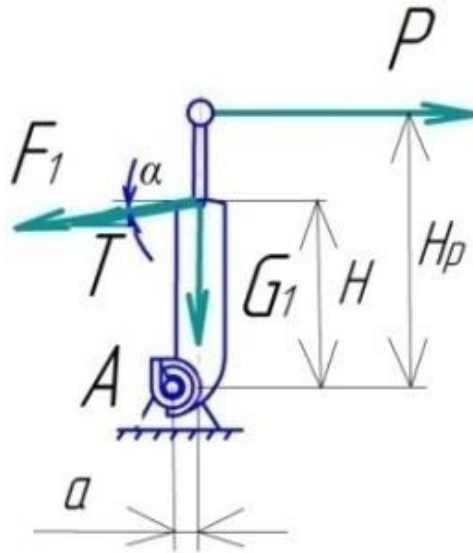


Рисунок 4.6 – Силова схема дії навантажень на відкидний борт платформи.

Рівновага відкидного борту визначається умовою, за якої алгебраїчна сума моментів усіх прикладених сил відносно шарніра А дорівнює нулю:

$$\sum M_A = 0,$$

$$P \cdot H_p - T \cdot H \sin \alpha - F_1 \cos \alpha \cdot H + G_1 \cdot a = 0, \quad (4.1)$$

де H_p – плече прикладання зусилля P , м;

a – ексцентриситет борту, тобто відстань між вертикальною віссю борту та віссю його шарніра, м;

α – початковий кут нахилу опорного щита відносно горизонталі, °.

У формулі (4.1) доданок $G_1 \cdot a$ береться зі знаком «+», якщо шарнір борту зміщено у напрямку рухомого бруса, і зі знаком «–», якщо петля розташована з протилежного боку.

Із рівняння (4.1) можна отримати вираз для визначення сили, яку повинен прикласти оператор під час відкривання борту:

$$P = T \frac{H}{H_p} \cos \alpha + F_1 \frac{H}{H_p} \cos \alpha - G_1 \frac{a}{H_p}. \quad (4.2)$$

Враховуючи, що $F_1 \cos \alpha = f_{\text{тр}} G_1$ і $G_1 = mg \frac{l_2}{L}$, де $f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя металу по металу (опорний щит і борт виготовлені зі сталі);

m – загальна маса рулонів сіна, які одночасно здійснюють вивантаження з платформи, разом із масою опорного щита, кг;

L – горизонтальна відстань між рухомим брусом та бортом платформи, м;

l_2 – відстань у горизонтальному напрямку від центру маси рулону у транспортному положенні до точки, у якій опорний щит спирається на рухомий брус, м.

З урахуванням цих позначень формула (4.2) може бути переписана у такій змінній формі:

$$P = T \frac{H}{H_p} \cos \alpha + mg \frac{l_2}{L} (f_{\text{тр}} \frac{H}{H_p} - \frac{a}{H_p}). \quad (4.3)$$

Щоб визначити величину натягу троса T , проаналізуємо систему сил, що прикладаються до рухомого бруса в початковий момент його переміщення (рис. 4.7).

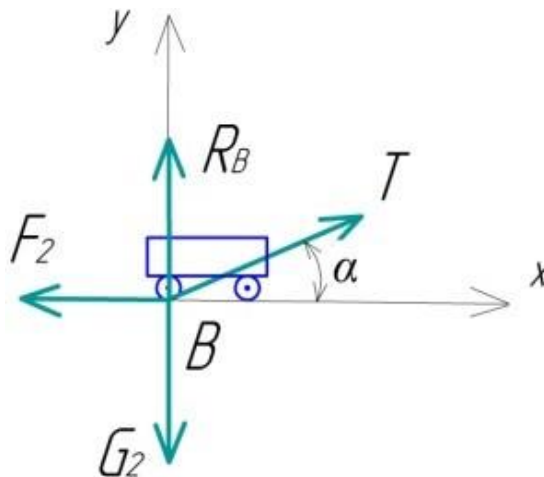


Рисунок 4.7 – Силова модель взаємодії елементів конструкції в момент дії навантажень на рухомий брус.

Рівняння рівноваги для рухомого бруса по осі x формується з умови, що алгебраїчна сума проекцій усіх прикладених сил на цю вісь дорівнює нулю:

$$\sum x = 0$$

$$T \cos \alpha - F_2 = 0.$$

З урахуванням того, що сила опору коченню рухомого бруса визначається залежністю $F_2 = f_k$ до G_2 , де G_2 – частина ваги рулону та опорного щита, що припадає на рухомий брус, Н;

f_k – коефіцієнт кочення коліс рухомого бруса по настилу платформи, а також беручи до уваги, що

$$G_2 = G \frac{l_1}{l},$$

отримаємо

$$T \cos \alpha = f_k m g \frac{l_1}{L} \quad (4.4)$$

Після підстановки знайденого виразу (4.4) у формулу (4.3) та проведення необхідних алгебраїчних перетворень одержуємо таку узагальнену залежність:

$$P = m g \frac{H}{H_p L} (f_k l_1 + f_{тр} l_2) - m g \frac{l_2}{L} \cdot \frac{a}{H_p}. \quad (4.5)$$

Формула (4.5) дає можливість визначити величину зусилля, яке необхідно прикласти до важеля в момент початку відкривання бокового борта платформи залежно від окремих її геометричних параметрів.

Під час застосування цієї формули потрібно враховувати, що значення відстаней l_1 та l_2 змінюються внаслідок зміщення центра мас рулону при варіюванні висоти борта.

На основі розрахунків побудовано графічну залежність між висотою борта та величиною відстані l_1 для випадку розвантаження рулонів, сформованих прес-підбирачем ПР-Ф-110 (рис. 4.8).

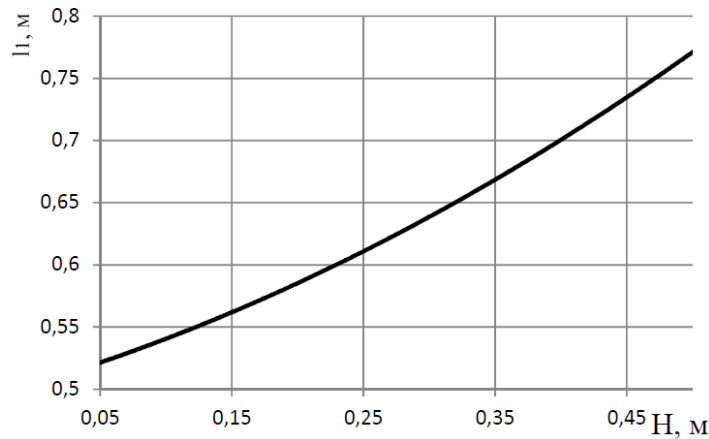


Рисунок 4.8 – Графік залежності зміни відстані l_1 від величини висоти бокового борта.

Проведений аналіз побудованої графічної залежності показав, що її можна апроксимувати з дуже високою точністю ($R^2 = 0,994$) наступним аналітичним виразом:

$$l_1 = 0.43H^2 + 0.32H + 0.5. \quad (4.6)$$

Формулу (4.5) також можна застосувати для визначення граничного значення ексцентриситету борта a . Для цього в виразі потрібно прийняти, що зусилля оператора на важіль відсутнє, тобто $P = 0$. Підставивши це значення у формулу та виконавши необхідні алгебраїчні перетворення, отримуємо такий розрахунковий вираз:

$$a \leq \frac{H}{l_2} (f_k l_1 + f_{тр} l_2). \quad (4.7)$$

Важливо враховувати, що величина зусилля P , а також висота його прикладання до важеля керування відкидним бортом, регламентуються ергономічними вимогами до робочого місця оператора. Тому визначення раціональної висоти борта необхідно здійснювати з урахуванням допустимого значення зусилля на важелі. У цьому випадку розрахункова залежність набуває вигляду:

$$H = \frac{P \cdot H_p L}{mg(f_k l_1 + f_{тр} l_2)} + \frac{a l_2}{(f_k l_1 + f_{тр} l_2)}. \quad (4.8)$$

Залежність (8) дає можливість обчислити раціональну висоту бокового борту платформи залежно від прийнятого зусилля на важелі керування.

Для подальшого аналізу розглянемо два можливих способи розвантаження рулонів сіна з платформи.

Рулон сіна почне переміщуватися вниз по поверхні опорного щита в тому випадку, коли кут нахилу цього щита дорівнюватиме або перевищуватиме кут статичного тертя рулону об металеву поверхню.

Щоб визначити взаємозв'язок між основними конструктивними параметрами платформи — висотою розташування шарніра h на рухомому брусі, висотою борту H та ексцентриситетом борту a — запишемо умову початку ковзання рулону по опорному щиту у такому вигляді:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{\Delta} \geq \operatorname{tg}[\beta], \quad (4.9)$$

де h – вертикальна відстань від осі шарнірного з'єднання рухомого бруса до площини дна платформи;

$[\beta]$ – граничний (статичний) кут тертя рулону сіна по сталевій поверхні опорного щита.

Тоді, перетворивши умову ковзання (4.9), отримаємо співвідношення такого вигляду:

$$h = \Delta \operatorname{tg}[\beta]. \quad (4.10)$$

Для визначення величини Δ проаналізуємо геометричні співвідношення в трикутнику ACD. Використовуючи властивості рівнобедреного трикутника та застосувавши теорему косинусів до сторони, що лежить напроти кута γ , одержимо такий розрахунковий вираз:

$$H_2 = 2H_1 \sin(\gamma/2). \quad (4.11)$$

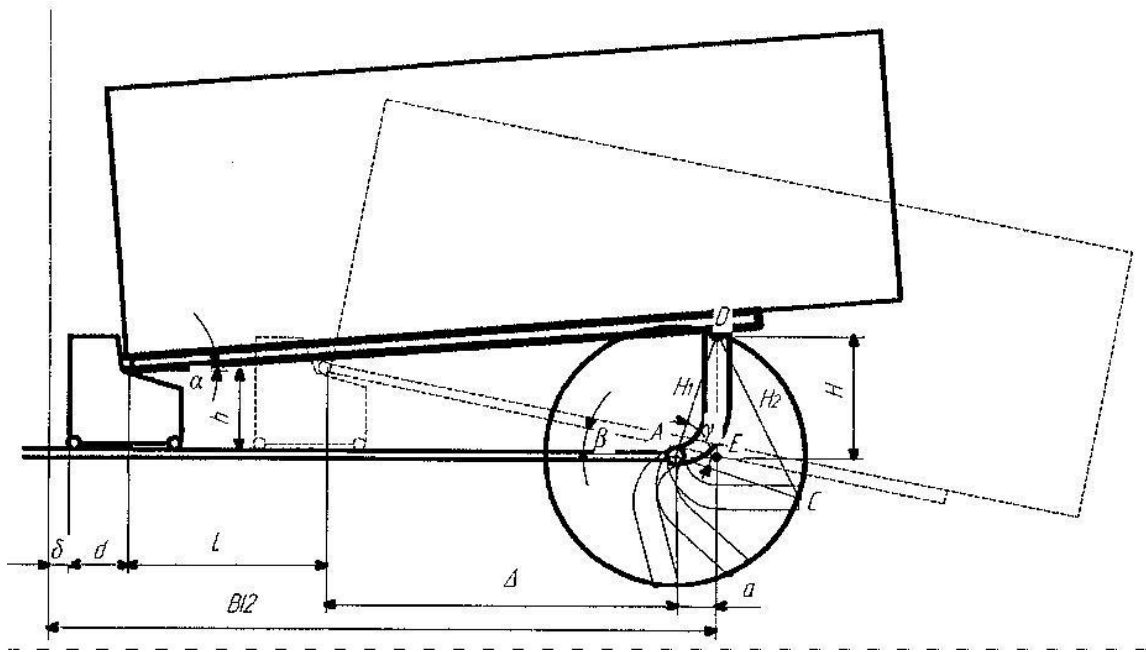


Рисунок 4.9 – Геометрична схема визначення конструктивних параметрів платформи відповідно до першого способу вивантаження рулонів сіна.

Кут γ визначає просторове положення між двома сторонами трикутника AD і AC у схемі ACD. Сторона AD відповідає відрізку, що з'єднує точку кріплення троса на відкидному борту з центром шарніра, який фіксує борт у замкненому положенні відносно дна платформи. Водночас сторона AC — це положення цієї ж ланки AD, але вже при відкриванні борта, у момент коли опорний щит торкається шарніра, що з'єднує борт із платформою.

Для прямокутного трикутника AED гіпотенуза визначається виразом:

$$H_1 = \sqrt{H^2 + a^2}. \quad (4.12)$$

Після підстановки формули (3.19) у вираз (3.18) виконаємо перетворення, внаслідок чого одержимо таку залежність:

$$H_2 = 2\sqrt{H^2 + a^2} \sin(\gamma/2). \quad (4.13)$$

У положенні, коли відкидний борт доходить до моменту дотику опорного щита до шарніра, що з'єднує борт із дном платформи, шарнір рухомого бруса зміщується у напрямку борта на величину $L = H_2$.

У цьому випадку необхідна відстань може бути подана у вигляді:

$$\Delta = \frac{B}{2} - \delta - d - a - L = \frac{B}{2} - \delta - d - a - 2\sqrt{H^2 + a^2} \sin(\gamma/2), \quad (4.14)$$

де B - ширина платформи.

Після підстановки виразу (4.14) у формулу (4.10) отримуємо узагальнену залежність, яка встановлює зв'язок між висотою розміщення осі шарніра рухомого бруса та величинами висоти борта H і ексцентриситету борта a :

$$h \geq \left(\frac{B}{2} - \delta - d - a - 2\sqrt{H^2 + a^2} \sin(\gamma/2) \right) \operatorname{tg}[\beta]. \quad (4.15)$$

Отримана залежність дає можливість встановити раціональні діапазони зміни факторів під час планування багатофакторного експерименту.

Розглянемо другий варіант розвантаження рулонів сіна з платформи. Як і в першій технологічній схемі, умова початку ковзання рулону по опорному щиту залишається незмінною: рух рулону розпочнеться тоді, коли кут нахилу опорного щита буде не меншим за кут статичного тертя рулону сіна по сталевій поверхні.

У цьому варіанті зміна нахилу опорного щита відбувається комплексно — поєднанням відкривання борта та додаткового повороту опорного щита навколо шарніра, що з'єднує його з рухомим брусом. Сам рухомий брус переміщується у напрямку борта за рахунок натягу троса.

На відміну від першого варіанта, де шарнір між опорним щитом і рухомим брусом був розташований на самому кінці щита, у другому варіанті його зміщують відносно рухомого бруса в сторону борта на певну відстань. Схему такого положення наведено на рис. 4.10.

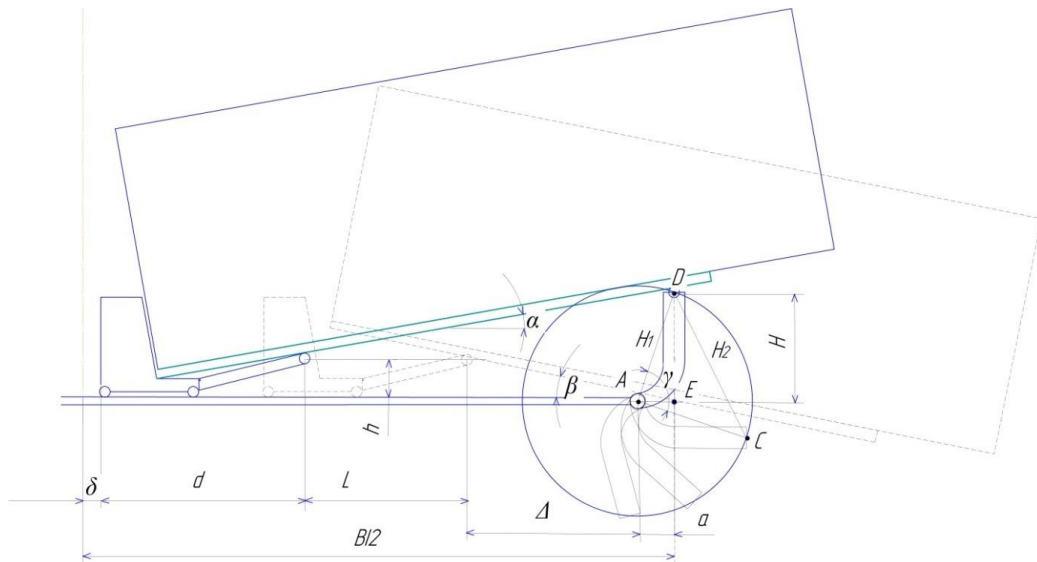


Рисунок 4.10 – Схема визначення параметрів платформи для другого варіанта технології розвантаження рулонів.

Співвідношення між конструктивними параметрами платформи в другому варіанті розвантаження рулонів сіна відповідає виразу (4.15).

У ході аналізу встановлено, що при формуванні системи факторів, які впливають на величину зусилля на важелі відкидного борта, не можна одночасно використовувати висоту борта (H) разом із такими параметрами, як ексцентриситет борта (a) та висота розташування шарніра на рухомому брусі (h), оскільки ці величини є взаємозалежними і порушують вимогу незалежності факторів.

З урахуванням проведених теоретичних досліджень, аналізу наукових джерел та результатів пошукових експериментів були обрані три незалежні керовані фактори, які найбільше впливають на зусилля відкривання борта платформи:

- x_1 — висота борта;
- x_2 — вертикальна відстань від точки кріплення троса на борту до дна платформи;
- x_3 — горизонтальна відстань від осі петлі борта до точки опирання опорного щита на рухомий брус.

Оптимальне поєднання цих факторів, яке забезпечує ергономічно

допустиме значення зусилля на важелі керування відкриванням борта, визначали за методом дисперсійного аналізу, запропонованим Р. Фішером.

Експериментальні випробування проводили на виготовленій дослідній платформі. Значення сили, яку прикладає оператор у початковий момент розвантаження рулонів, вимірювали динамометром (рис. 4.11) з точністю 2 Н.



Рисунок 4.11 – Процес фіксації зусилля, яке оператор прикладає до важеля керування відкриванням борту платформи.

Перед початком основних досліджень було виконано калібрування динамометра. Для цього до його гака послідовно підвішували еталонні лабораторні гирі та порівнювали їхню фактичну масу з показаннями приладу. Кожне вимірювання повторювали тричі, після чого заносили результати до таблиці 4.1. На основі цих даних побудували тарувальну криву, наведену на рис. 4.12.

Таблиця 4.1 – Поправочні коефіцієнти при визначенні зусилля оператора на важелі керування відкриттям борту платформи

№ п/п	Маса зразкових наважок, кг	Показники на шкалі динамометра	Різниця (поправочний коефіцієнт), кг	№ п/п	Маса зразкових наважок, кг	Показники на шкалі динамометра	Різниця (поправочний коефіцієнт), кг
1	0,5	0,5	0	11	5,5	5,6	- 0,1
2	1,0	1,0	0	12	6,0	6,0	0
3	1,5	1,5	0	13	6,5	6,8	- 0,3
4	2,0	2,2	- 0,2	14	7,0	7,2	- 0,2
5	2,5	2,7	- 0,2	15	7,5	7,9	- 0,1
6	3,0	3,2	- 0,2	16	8,0	8,2	- 0,2
7	3,5	3,7	- 0,2	17	8,5	8,8	- 0,3

8	4,0	4,2	- 0,2	18	9,0	9,4	- 0,4
9	4,5	4,6	- 0,1	19	9,5	9,8	- 0,3
10	5,0	5,0	0	20	10,0	10,6	- 0,4

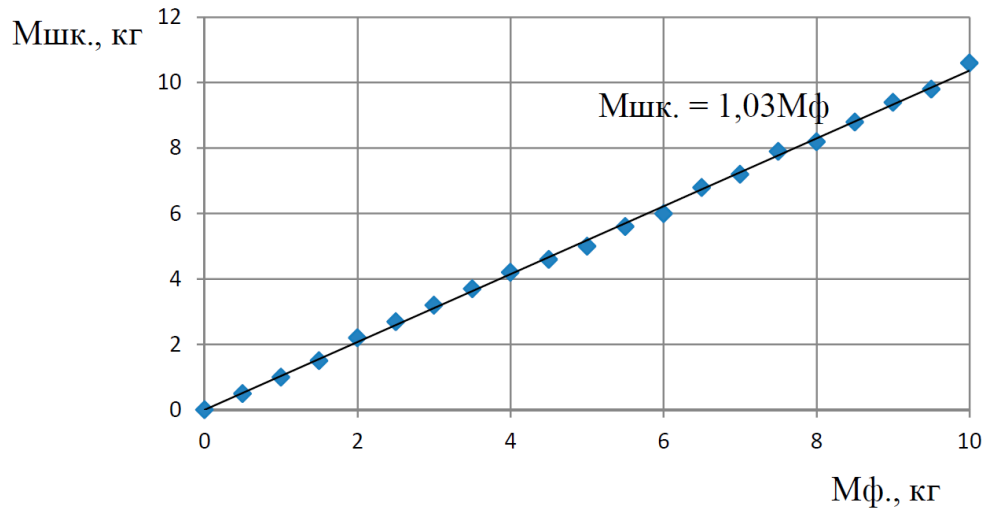


Рисунок 4.12 – Тарувальна крива динамометра, отримана за результатами контрольних вимірювань.

Отримано співвідношення, яке описує залежність показань динамометра ($M_{шк.}$) від реальної маси підвішеного еталонного вантажу ($M_{ф.}$). Це дозволяє враховувати поправку при подальших вимірюваннях та забезпечує підвищену точність визначення зусилля оператора під час відкривання борта платформи:

$$M_{шк.} = 1,03M_{ф.}, \quad (4.16)$$

звідки

$$M_{ф.} = M_{шк.} / 1,03. \quad (4.17)$$

Таким чином, щоб отримати реальне значення зусилля, яке оператор прикладає до важеля відкривання борта, достатньо зафіксувати показ динамометра та поділити його на коефіцієнт 1,03, отриманий під час калібрування. Це дає можливість компенсувати похибку вимірювального приладу.

Геометричні параметри конструкції — висоту борта, відстань від центра ролика до вертикальної площини борта, відстань від центра ролика до дна платформи та відстань від борта до точки кріплення троса на візку — визначали

за допомогою рулетки з точністю 1,0 мм, виконуючи кожне вимірювання тричі.

Попередні випробування підтвердили, що під час виготовлення платформи всі досліджувані параметри можуть бути встановлені в межах оптимальних значень.

Вплив відібраних факторів (x_1, x_2, x_3) на величину зусилля оператора P під час початкового моменту відкривання борта описували математичною моделлю, загальна структура якої наведена на рисунку 4.13.

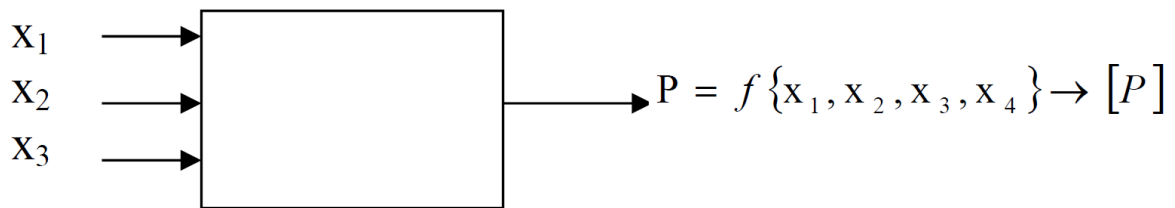


Рисунок 4.13. Узагальнена модель оптимізації зусилля, що прикладається оператором до важеля відкривання борта платформи в момент початку розвантаження рулонів сіна.

Цільову функцію, що описує оптимізацію зусилля оператора на важелі відкривання борта удосконаленої платформи, було подано у такому загальному вигляді:

$$P = (x_1; x_2; x_3) \rightarrow [P], \quad (4.18)$$

де $[P]$ – максимально допустиме значення зусилля на важіль, визначене вимогами охорони праці та ергономічними нормами.

Експериментальні результати були опрацьовані за допомогою методу дисперсійного аналізу, що дало змогу оцінити статистичну значущість впливу кожного фактора та їхніх комбінацій на цільовий показник.

Найменування вибраних факторів, а також відповідні рівні їх зміни та інтервали варіювання наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Досліджувані фактори, їх рівні та інтервали варіювання

Фактори	Рівні фактора			Інтервал варіювання, ε
	0	–1	+1	
x_1 - ексцентриситет борту, мм	0	– 30	30	30

x_2 - відстань від шарніра до проекції центру ваги рулону, мм	50	0	100	50
x_3 - висота борту, мм	120	60	180	60

Для дослідження впливу обраних факторів був проведений багатофакторний активний експеримент. Планування випробувань здійснювали за матрицею Рехтшафнера, наведеною в таблиці 4.2, що дало змогу мінімізувати кількість дослідів і водночас отримати повноцінну інформацію про поведінку системи.

Таблиця 4.2 – Матриця планування Рехтшафнера для трифакторного експерименту

1	-1	-1	-1
2	-1	1	1
3	1	-1	1
4	1	1	-1
5	1	-1	-1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	1	0	0
9	0	1	0
10	0	0	1

Під час дослідження факторів у зоні їх оптимальних значень було застосовано планування експерименту другого порядку — план Рехтшафнера. Такий тип плану вважається близьким до *R-оптимального*, а також є максимально насиченим, оскільки кількість експериментів у серії відповідає числу коефіцієнтів у рівнянні регресії, що формується на основі отриманих даних. Це дозволяє зменшити обсяг досліджень без втрати повноти інформації.

Однорідність точності результатів проведених дослідів перевіряли за критерієм Кохрена, для чого попередньо обчислювали дисперсії у паралельних вимірюваннях за формулою:

$$\gamma^2 = \frac{\sum_1^m (y_{in} - \bar{y}_n)^2}{m-1}, \quad (4.19)$$

де U_{in} – значення обраного критерію оптимізації, отримане в j -му

повторенні для i -го рядка плану;

$\bar{Y}_n$ – середнє значення критерію оптимізації для i -го рядка матриці планування;

m – кількість повторних дослідів.

Після обчислення дисперсій у паралельних повтореннях значення критерію Кохрена визначали за залежністю:

$$G_p = \frac{\delta_{i\max}^2}{\sum_1^N \delta_i^2}, \quad (4.20)$$

де $\delta_{i\max}^2$ – найбільше значення дисперсії серед усіх рядків матриці планування;

$\sum_1^N \delta_i^2$ – сума дисперсій для всіх дослідних точок.

Обчислене експериментальне значення критерію G_p порівнювали з табличним. Умова рівноточності результатів експерименту вважається виконаною, якщо дотримано співвідношення:

$$G_p = G_{0.05} \quad (4.21)$$

Кодування значень факторів виконували на основі залежності:

$$x_1 = \frac{x_i - x_0}{E_i}, \quad (4.22)$$

де x_1 – закодоване значення фактора (верхній рівень — +1, нижній — -1, нульовий — 0);

x_i , x_0 – відповідно натуральне значення фактора на вибраному рівні та його нульове (центральне) значення;

E_i – інтервал варіювання фактора у натуральних одиницях, що визначається за формулою:

$$E_i = \frac{x_i^B - x_i^H}{2}, \quad (4.23)$$

де x_i^B , x_i^H – відповідно натуральні значення фактора на верхньому та нижньому рівнях його варіювання.

Коефіцієнти рівняння регресії визначали за такими залежностями:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u}{N}, \quad b_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} \cdot \bar{y}_n}{\sum_{u=1}^N x^2_{iu}}, \quad (4.24)$$

$$b_{i\mu} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{ju}^2}, b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2},$$

де $\bar{y}_n$ – середнє значення обраного критерію оптимізації, отримане в i -му досліді;

i – номер стовпця у матриці планування, що відповідає певному члену рівняння регресії.

Адекватність побудованої математичної моделі оцінювали за F-критерієм Фішера, використовуючи стандартну перевірочну залежність:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (4.25)$$

де $S_{ад}^2$ S_y^2 – відповідно дисперсія адекватності отриманої моделі та дисперсія відтворюваності.

Дисперсію адекватності визначали за такими залежностями:

$$S_{ад}^2 = \frac{m \sum_1^N (\widehat{y_u} - \bar{y}_u)^2}{N - n - 1}; \quad (4.26)$$

$$S_y^2 = \frac{m(\sum_1^{N-2} y_u - N \sum_1^N b_i^2)}{N - n - 1},$$

де $\widehat{y}_u$ – середнє значення критерію оптимізації, отримане за моделлю;

n – кількість досліджуваних факторів.

Дисперсію похибки експерименту обчислювали за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^m (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N \cdot (m - 1)}; \quad (4.27)$$

де y_{iu} – значення критерію оптимізації, отримане у паралельних дослідях;

m – кількість паралельних повторень.

Гіпотеза про адекватність математичної моделі вважалася прийнятною за умови, що отримане розрахункове значення критерію Фішера є меншим за табличне ($F_p < F_{табл.}$).

Табличне значення $F_{табл.}$ визначали з урахуванням числа ступенів свободи чисельника $f_1 = N - n - 1$ і знаменника $f_2 = N(m - 1)$.

Оцінювання значущості кожного коефіцієнта рівняння регресії виконували за допомогою **t-критерію Стюдента**, для чого визначали довірчий

інтервал для відповідного коефіцієнта регресії:

$$\Delta b_i = t \frac{t \cdot S\{b_i\}}{\sqrt{N}}, \quad (4.28)$$

де $S\{b_i\}$ – середньоквадратична похибка i -го коефіцієнта рівняння регресії.

Дисперсії коефіцієнтів регресійної моделі обчислювали за наступною залежністю:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S_y^2}{\sum_{i=1}^4 x_{iu}^2}. \quad (4.29)$$

Аналіз отриманих рівнянь регресії здійснювали на основі побудови двовірних перерізів поверхні відгуку. Такі перерізи формували після перетворення регресійних рівнянь у канонічний вигляд. Коефіцієнти моделі в канонічній формі визначали шляхом розв’язання характеристичних рівнянь, використовуючи стандартні програмні засоби для обчислень.

4.3. Методика визначення коефіцієнта тертя спокою рулонів сіна по опорному щиту платформи

Для визначення коефіцієнта тертя спокою рулонів сіна по опорному щиту платформи (f_{mp}), який використовується в подальших інженерних розрахунках, фіксувався момент переходу рулону, що перебуває у стані спокою на опорному щиті, до початку ковзання. Експериментальні випробування проводили за різної вологості сіна з кроком 5%, причому кожену серію дослідів виконували триразово для забезпечення відтворюваності результатів.

За величину статичного кута тертя приймали кут між площиною опорного щита та горизонтальною поверхнею у момент початку руху рулону. Тангенс цього кута відповідає відношенню нормальної складової сили ваги рулону до максимальної сили тертя спокою.

Для практичного визначення статичного кута тертя була сконструйована і виготовлена лабораторна установка, загальний вигляд якої наведено на рис. 4.14.

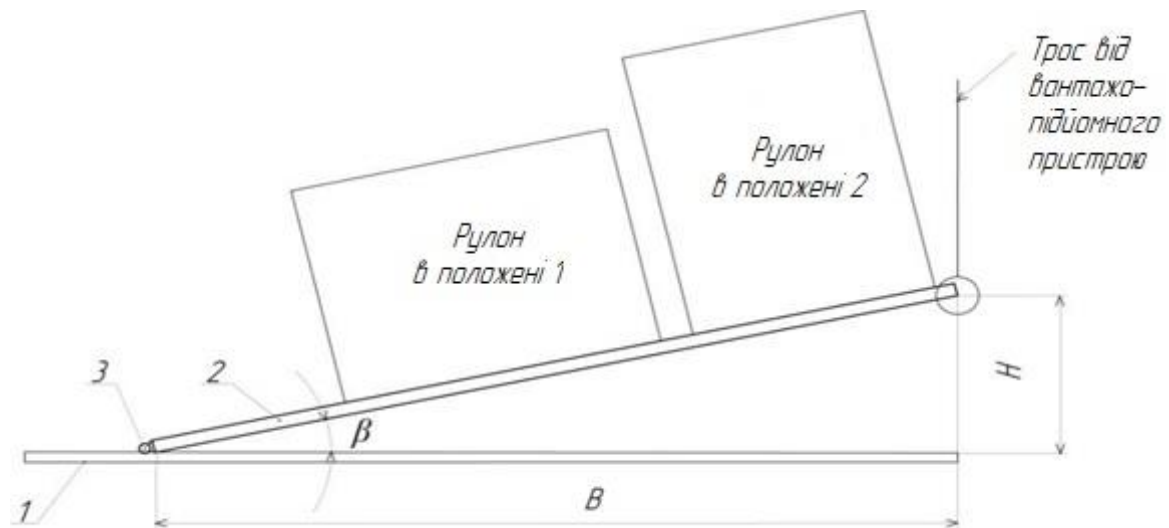


Рисунок 4.14 – Схематичне зображення установки для визначення статичного кута тертя.



Рисунок 4.15 – Процес експериментального визначення статичного кута тертя.

Лабораторна установка, призначена для визначення статичного кута тертя рулону сіна по металевій поверхні, включає опорну основу 1, яку встановлюють на рівну горизонтальну площадку, та робочий лист 2, шарнірно з'єднаний з основою за допомогою вузла 3 і під'єднаний до троса вантажопідйомного механізму. Лист 2 виготовлено з того самого сталевого

матеріалу, що й опорний щит платформи, що забезпечує коректність порівняльних результатів.

Проведення досліду здійснювали за такою методикою: лист 2 укладали на основу 1, після чого на його поверхню обережно розміщували рулон сіна — у різних положеннях (позиція 1 або позиція 2), залежно від серії експериментів. До протилежного від шарніра краю листа прикріплювали трос вантажопідйомного пристрою.

Плавним підйомом листа 2, без поштовхів і різких рухів, здійснювали його обертання навколо шарніра 3 до моменту, коли рулон починав рухатися з місця. У цей момент фіксували висоту підйому H , а знаючи довжину основи B , обчислювали кут нахилу β .

Статичний коефіцієнт тертя визначали за відомим співвідношенням:

$$f_{\text{тр}} = \operatorname{tg} \beta. \quad (4.30)$$

Висновки до розділу

1. Подано детальний опис конструкції експериментальної платформи, встановленої на бортовий транспортний засіб для перевезення рулонів сіна, а також викладено технологічну послідовність процесу їх розвантаження.

2. Розроблено та обґрунтовано методику проведення багатофакторного експерименту, спрямованого на оптимізацію основних геометричних параметрів платформи з урахуванням вимог до зусилля відкриття борту.

3. Запропоновано метод визначення статичного кута тертя рулонів сіна по опорному щиту платформи, що дозволяє встановити фактичні умови їх взаємодії під час вивантаження.

4. За результатами експериментів визначено оптимальні параметри платформи з точки зору допустимого зусилля відкривання борту: ексцентриситет борту — 30...24 мм (у напрямку всередину платформи), відстань від шарніра до проекції центра ваги рулону — 45...55 мм, висота борту

— 120...132 мм.

5. Встановлено, що оснащення бортового автомобіля ГАЗ-3302 «Газель» спеціальною платформою забезпечує можливість розвантаження рулонів сіна за 57 с, суттєво скорочуючи трудові витрати оператора.

6. Отримано і проаналізовано значення показників ефективності використання автомобіля ГАЗ-3302 «Газель» з удосконаленою платформою, що підтверджують доцільність її застосування у технології транспортування рулонів сіна.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час проведення аналізу стану охорони праці та формування відповідних заходів безпеки використовувалися такі нормативно-правові документи:

- Закон України «Про охорону праці» [37];
- «Рекомендації щодо управління охороною праці на сільськогосподарських підприємствах»;
- «Положення про порядок розслідування нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві» [38];
- Санітарні правила щодо умов зберігання та транспортування продукції;
- «Правила охорони праці під час транспортування, зберігання нафтопродуктів і заправлення тракторів у сільському господарстві».

Аналізуючи нормативну базу згідно з «Переліком нормативних документів, що діють у системі Держагропрому України», встановлено відсутність ряду важливих документів, а саме: Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про пожежну безпеку», Закону України «Про безпеку дорожнього руху», «Рекомендацій щодо управління охороною праці на сільськогосподарських підприємствах», а також «Правил техніки безпеки при транспортуванні та зберіганні нафтопродуктів і заправленні сільськогосподарських машин».

У господарстві потребують доопрацювання та актуалізації інструкції з охорони праці для зварника, слюсаря, коваля, а також відсутні типові інструкції для зазначених професій.

Відповідальність за стан охорони праці покладено на головного інженера.

Організація заходів з охорони праці здійснюється відповідно до «Посадової інструкції з охорони праці». Згідно з вимогами цієї інструкції керівники підрозділів повинні забезпечити:

- виконання правил, норм, стандартів та інструкцій з охорони праці, а також розпоряджень служб контролю;
- контроль за своєчасною атестацією працівників;
- подання заявок на засоби індивідуального захисту, спецодяг і спецвзуття;
- дотримання вимог санітарії та побутових умов відповідно до ДСН та ДСанПіН;
- облаштування місць короткочасного відпочинку на машинному дворі та ПТОА;
- підтримання належного санітарного стану виробничих і побутових приміщень;
- оновлення «куточка з охорони праці» згідно з НПАОП;
- ведення журналів інструктажів;
- забезпечення робочих місць необхідними інструкціями та пам'ятками;
- контроль технічного стану обладнання та наявності огорожень і блокувальних пристроїв;
- дотримання вимог виробничої санітарії, технологічної і трудової дисципліни.

Наявні недоліки у сфері охорони праці періодично стають причинами аварійних ситуацій, травматизму та професійних захворювань.

Безпека машин і обладнання

Під час аналізу технічного стану обладнання майстерні встановлено такі порушення:

- заточувальний верстат експлуатується без захисних щитків; зазор між абразивним кругом та опорною планкою відрегульований неправильно;
- настільний свердлильний верстат працює без огорожень, використовується зношений чи потенційно небезпечний інструмент; відсутнє заземлення;

- природного освітлення недостатньо, а окремі слюсарні операції виконуються із застосуванням неякісного інструмента;
- на машинному дворі та ПТОА застосовується нестандартне обладнання, що може спричинити травмування.

Безпека виконання технологічних операцій

Аналіз дотримання безпечних методів роботи показав ряд порушень:

- недотримання окремих процедур під час щозмінного та періодичного ТО;
- використання нестандартних або несправних пристосувань під час розбірно-складальних робіт;
- застосування неякісного слюсарного інструменту;
- неповне забезпечення пожежонебезпечних зон протипожежним інвентарем (відсутні пожежні відра тощо);
- під час ЕТО інколи не вимикається двигун енергетичного засобу;
- вентиляція працює нерегулярно;
- при обслуговуванні ходової частини не завжди застосовуються противідкатні упори;
- під час заміни мастила рідко проводиться промивання системи змащення двигуна.

На основі виконаного аналізу та виявлених недоліків сформульовано комплекс пожежних, санітарно-епідеміологічних та організаційних заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки праці, зниження виробничого травматизму та попередження аварійних ситуацій.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Відомо, що собівартість перевезення будь-якого вантажу являє собою суму всіх витрат, яких зазнає транспортне підприємство під час доставки вантажу до пункту призначення, у розрахунку на одиницю вантажообігу.

Для вантажних транспортних засобів, що працюють за тоннажним тарифом, такою одиницею може бути 1 т·км, при погодинному тарифі — 1 автомобіле-година тощо.

У межах цього дослідження за одиницю вантажообігу приймаємо показник «км·рулон» сіна, що найбільш точно характеризує специфіку транспортування рулонованого корму.

Структуру витрат на перевезення рулонів сіна транспортним засобом формують такі складові:

- амортизаційні відрахування на відновлення та капітальний ремонт транспортного засобу;
- витрати на паливо, мастильні матеріали та інші експлуатаційні рідини;
- заробітна плата водія або тракториста-машиніста;
- витрати на виконання технічного обслуговування та ремонт рухомого складу;
- інші супутні витрати (податки, страхування, обслуговування, стоянка тощо).

З урахуванням наведених складових собівартість транспортування одного рулону сіна на один кілометр за один здійснений рейс можна подати у загальному вигляді:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5, \quad (6.1)$$

де C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 – це окремі складові загальної собівартості транспортування рулонованого сіна, що відповідно характеризують:

C_1 – витрати на амортизацію транспортних засобів;

C_2 – витрати на паливо, мастильні матеріали та інші експлуатаційні

рідини;

C_3 – витрати, пов'язані з оплатою праці водіїв (трактористів-машиністів);

C_4 – вартість технічного обслуговування і ремонтів рухомого складу;

C_5 – інші експлуатаційні витрати (страхування, податки, стоянка тощо).

Розглянемо окремі елементи формули (6.1).

Складова собівартості, яка відноситься до амортизаційних витрат транспортного засобу під час перевезення рулонів сіна, визначається за формулою [24]:

$$C_1 = \frac{\left(\frac{B^A A_\Gamma^A}{T_\Gamma^A 100} + \frac{B^\Pi A_\Gamma^\Pi}{T_\Gamma^\Pi 100} \right)}{l_\Gamma N_p}, \quad (6.2)$$

де B^A , B^Π – балансова (первісна або відновна) вартість автомобіля (або трактора) та причепа відповідно, грн;

A_Γ^A , A_Γ^Π – нормативні річні амортизаційні відрахування для автомобіля (або трактора) та причепа, %;

T_Γ^A , T_Γ^Π – фактичний рівень річного завантаження автомобіля (або трактора) та причепа, %;

l_Γ – загальна протяжність маршруту перевезень рулонів сіна (загальногосподарських, внутрішньогосподарських або позагосподарських), км;

N_p – середньостатистична кількість рулонів сіна, які можуть бути перевезені транспортним засобом за один рейс при відповідному типі перевезень.

Розмір амортизаційних відрахувань для автомобіля (або трактора) та причепа визначали за формулами:

$$A_\Gamma^A = \frac{100}{C_{\text{СЛ}}^A}, \quad A_\Gamma^\Pi = \frac{D_{\text{вик}}^\Pi}{D_p}, \quad (6.3)$$

де $D_{\text{вик}}^A$, $D_{\text{вик}}^\Pi$ – кількість календарних днів протягом року, протягом яких відповідно автомобіль (або трактор) та причіп фактично залучалися до транспортування рулонів сіна;

D_p – загальна кількість робочих днів у 2021 році (прийнято $D_p = 247$ дн.).

Балансова (облікова) вартість транспортних засобів, що застосовувались у

дослідженні, становила:

- МТЗ-82.1 з причепом 2ПТС-4,5 – 1 330 000 грн;
- бортовий автомобіль ГАЗ-3302 «Газель» – 810 000 грн;
- самоскид ГАЗ-САЗ-3507 – 1 295 000 грн;
- КАМАЗ-45144 з причепом (7 т) – 3 100 000 грн.

Визначення нормативних строків експлуатації здійснювали згідно з чинними амортизаційними групами автотранспортних засобів. Автомобілі ГАЗ-3302 «Газель» та ГАЗ-САЗ-3507/35071 належать до 4-ї амортизаційної групи (вантажопідйомність 0,5–5 т), тоді як автомобіль КАМАЗ-45144 – до 5-ї групи (5–15 т). До 4-ї групи відносять і причепа.

Для 4-ї амортизаційної групи нормативний строк служби становить 5–7 років, а для 5-ї – 7–10 років. З урахуванням низької інтенсивності експлуатації транспортних засобів у господарстві та пробігу до капітального ремонту (ГАЗ-3302 – 150 тис. км; ГАЗ-САЗ-3507/35071 і КАМАЗ-45144 – 200 тис. км) прийнято верхні межі строків служби:

- ГАЗ-3302 «Газель», ГАЗ-САЗ-3507/35071 та причепа – 7 років;
- КАМАЗ-45144 – 10 років;
- трактор МТЗ-82.1 – 10 років.

На підставі наведених вихідних даних визначені річні нормативи амортизаційних відрахувань:

- для ГАЗ-3302, ГАЗ-САЗ-3507/35071 та причепів – 14,28 %,
- для КАМАЗ-45144 і МТЗ-82.1 – 10,0 %.

Під час обчислення амортизаційної складової собівартості транспортування враховували середню дальність перевезення рулонів і середню кількість рулонів сіна від прес-підбирачів ПР-Ф-110 і ППР-120, транспортованих за один рейс.

Усі виконані розрахунки наведені у Додатку А.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено комплексну оцінку показників ефективності транспортування рулонів сіна транспортними агрегатами МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302, ГАЗ-САЗ-3507/35071 та КАМАЗ-45144 з причепом при роботі з рулонами, сформованими прес-підбирачами ПР-Ф-110 і ППР-120, на трьох типах перевезень:

- загальногосподарських (до 3 км),
- внутрішньогосподарських (3–20 км),
- позагосподарських (понад 20 км).

2. Аналіз значень комплексного критерію ефективності для серійних транспортних засобів показав такі закономірності:

- на коротких (до 3 км) відстанях у випадку перевезення рулонів малої маси найбільш ефективним є ГАЗ-3302 ($K_e = 0,49$), тоді як для рулонів більшої маси перевагу має ГАЗ-САЗ-3507/35071 ($K_e = 0,26$);

- на внутрішньогосподарських маршрутах найбільш результативним також виявився автомобіль ГАЗ-3302 ($K_e = 1,92$ і $K_e = 0,60$ залежно від маси рулону);

- на великих відстанях (понад 20 км) ефективнішим є КАМАЗ-45144 ($K_e = 4,44$ та $K_e = 8,46$);

- використання машинно-тракторного агрегату МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 виявилось малоефективним у всіх режимах перевезень, навіть на мінімальних дистанціях ($K_e = 0,01$).

3. Розроблено конструктивно-технологічну схему спеціальної платформи для бортового автомобіля, призначеної для транспортування рулонів грубих кормів, а також визначено оптимальні параметри її вузлів:

4. – ексцентриситет борта 30...24 мм (у напрямку всередину платформи);

5. – відстань від шарніра до проекції центра ваги рулону 45...55 мм;

6. – висота борта 120...132 мм.
7. Проведено технічне обґрунтування технології вивантаження рулонів із платформи.
8. Розрахунок комплексного критерію ефективності застосування удосконаленої платформи на базі автомобіля ГАЗ-3302 показав, що:
 9. – на загальногосподарських перевезеннях $K_e = 6,86$,
 10. – на внутрішньогосподарських $K_e = 16,00$,
 11. – на позагосподарських $K_e = 46,21$.
12. Це перевищує ефективність використання стандартного автомобіля відповідно у 14,0; 9,88 та 14,72 рази, що свідчить про істотну перевагу запропонованої конструкції з точки зору продуктивності, енергозатрат і трудомісткості операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич А.О. Світові земельні, продовольчі і кормові ресурси. - К.: Аграрна наука, 1996. - 571 с.
2. Булгаков В.М. Использование прямого метода граничных элементов при исследовании стационарных колебаний пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетнік, А.Г. Куценко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – №1(84). – 2017. – С.8-14.
3. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. / Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. – Вип. 1 (73).
4. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 667 с.
5. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. – С.5-9.
6. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спірін. - Вінниця: ВДАУ - „Тірас”. - 2003. - 68 с.
7. ГОСТ 27548–97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. Межгосударственный стандарт. Минск.: Изд-во стандартов Московский печатник, 1998. - 6 с.
8. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с.
9. Енергозберігаючі технології заготівлі та використання кормів / М.Ф. Кулик, В.В. Хіміч, В.Ф. Сіроштан, А.І. Овсієнко. - К.: Урожай, 1987. - 155 с.
10. Зінченко О.І. Біологічне рослинництво: Навч. посібник / О.І. Зінченко,

О.С. Алексеева, П.М. Приходько та ін.; За ред. О.І.Зінченка. — К.: Вища шк., 1985. - 236 с.

11. Зінченко О. І. Кормовиробництво: Навчальне видання. - 2-е вид., доп. І перероб. - К.: Вища освіта, 2005. - 448 с.

12. Іванов М.І., Гунько І.В., Ковальова І.М., Худолій О.І. Аналіз технологічних систем. Навчальний посібник. Частина 1. Вінниця.2010. – 113с.

13. Калетнік Г. М. Математичне моделювання руху скиби ґрунту по площині косого клина / Г. М. Калетнік, В. М. Пришляк, В. М. Яропуд, В.М. Булгаков, С. Ф. Пилипака // Вібрації в техніці та технологіях. - 2013. - № 4. - С. 27-36.

14. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко *[та ін.] ... М-во аграр. політики України , Вінниц. держ. аграр. ун-т; . - Київ : Хай-Тек Прес, 2011. - 616 с.

15. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. - Київ : Хай-Тек Прес, 2013. - 528 с.

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

17. Кулик М. Ф. Нетрадиційні технології заготовлі кормів із бобових і злакових трав із підвищеною вологістю / М. Ф. Кулик, В. Ф. Петриченко, Л. Т. Глушко // Ефективні корми та годівля.- 2007.- № 5(21).- С. 21-24

18. Липкович, Э.И. Комплексная механизация уборки соломы и половы / Э.И. Липкович, В .Я. Жуков, В.В. Филатов. - зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1977. - 48 с.

19. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П. та ін. Практикум з використання машин у рослинництві. Дн-ськ, ДДАУ, 2002.-212 с.

20. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полєвода / За ред.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. – 110 с.

21. Пришляк В.М. Механіко-технологічні властивості стебел як передумова до розробки робочих органів сільськогосподарських машин і формування проектних компетентностей агроінженера / Пришляк В.М., Курило В.Л. Техніка, енергетика, транспорт АПК. - 2019. - № 1 (104). - С. 20-27.

22. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]. ; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.

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

24. Солоня О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. – Вінниця, 2019. – 254 с.

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

26. Спірін А.В., Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Омелянов О.М. Охорона праці в галузі. Практикум.– Вінниця: РВВ ВНАУ, 2015. – 127 с.

27. Сумець О.М., Войтов В.А. Логістичні системи і ланцюги постачань: [навч.посібник].-2-е видання, стереотипне. – Харків; КП «Міська друкарня», 2013. – 194 с.

28. Шевченко І. Сучасні технології забезпечення тваринництва екологічно чистими кормами / І. Шевченко, В. Шацький, І. Махмудов // Агро перспектива.- 2009. - № 11(107).- С. 74-78

29. Bale Buggy for Wrapped Bales: Проспект фирмы Cook.- 1990. - Р.2.

30. Grays Wrap-Stacker: Проспект фирмы Grays (Великобритания). - 1990.-Р.8.

31. The Fastest Handler I Any Field Round or Square: Проспект фирмы Traileyre Systems. - 1990.-Р.2.