

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ
ПЕРЕВЕЗЕННЯ БОРОШНА

Виконав: студент II курсу групи Ат-22сп

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Роман СТЕЦИК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Дмитро РУБАН

(ім'я та прізвище)

ДУБЛЯНИ 2023

УДК 629.114.45

Стецик Р.В. Удосконалення конструкції автомобіля для перевезення борошна. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування. 2023. 60 с.

Табл. 7; рис. 19; бібліогр. джерел 24.

У кваліфікаційній роботі проведено огляд автомобілів-муковозів. Визначені параметри і характеристики навантажувального пристрою для муки, що встановлені на цистерні. Проведено аналіз шляхів удосконалення конструкції автомобіля-муковоза. Розглянуто борошновози, які потрібні для перевезення борошна та інших сипучих продуктів.

Здійснено визначення вертикального навантаження несучої конструкції вагона-цистерни при русі в порожньому стані по нерівності. Встановлено, що використання фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою підшипників, дозволяє знизити динамічне навантаження вагона-цистерни майже на 35% порівняно з прототипом.

Проведено дослідження та аналіз стійкості автоцистерни автомобіля-муковоза. Отримані залежності критичних швидкостей руху від: кута віражу; по перевертанню від ширини колії муко воза; по перевертанню від положення центра мас цистерни муко воза та по перевертанню від кута повороту керованих коліс тягача муко воза.

Здійснено розрахунок всмоктувальної та нагнітальної системи пневмотранспортного механізму для транспортування борошна. Проведено розрахунок відцентрової помпи повітронадувного механізму. Проаналізовано стійкість автоцистерни борошновоза. Визначено зміну критичної швидкості перевертання залежно від різних конструктивних параметрів транспортного засобу. Технічний рівень виробу на 11% вище ніж у попередніх моделях.

Здійснено розрахунок економічної ефективності впровадження у виробництво удосконаленої конструкції автомобіля-муковоза

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1	
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1. Загальні відомості	7
1.2. Призначення та стан транспортного засобу	8
1.3. Конструкція напівпричепа муковоза.....	9
1.4. Висновки до розділу	16
РОЗДІЛ 2	
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1. Розрахунок споживаної потужності пристрою	17
2.2. Визначення розмірів ежектора	22
2.3. Розрахунок відцентрової помпи повітронадувного механізму ...	23
2.4. Висновок до розділу.....	26
Розділ 3	
КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	27
3.1. Аналіз динаміки та розрахунок на міцність симетрично навантаженої несучої конструкції цистерни	27
3.2. Дослідження та аналіз стійкості автоцистерни автомобіля- муковоза.....	36
3.3. Висновки до розділу	39
РОЗДІЛ 4	
ОХОРОНА ПРАЦІ	41
4.1. Шкідливі та небезпечні фактори, які виникають під час експлуатації муковоза.....	41
4.2. Пожежна безпека	42
4.3. Вимоги безпеки при навантаженні та розвантаженні муковоза..	45
4.4. Обґрунтування травмонебезпечних ситуацій під час виконання транспортних операцій	46
4.5. Висновок до розділу	48
РОЗДІЛ 5	
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	49
5.1. Оцінка економічної ефективності впровадження у виробництво удосконаленої конструкції автомобіля-муковоза	49
Висновок до розділу.....	55
ВИСНОВКИ.....	56
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	58

ВСТУП

Борошновози являють собою напівпричіп – цистерну, яка спеціально обладнана для завантаження, транспортування і розвантаження борошна. Борошновози експлуатуються підприємствами, які зберігають і переробляють борошно і подібну продукцію.

Для правильного транспортування використовують спеціальну техніку – напівпричіп борошновоз.

Саме таку техніку використовувати зручно, адже головною її перевагою є велика вантажність. Корисна маса, що перевозиться, обраховується в об'ємі вагою в 40 тонн. Автопоїзд може переміщувати близько 38 тонн матеріалу, до числа яких входить 14 тонн ваги самого устаткування, включаючи тягач з цистерною.

Однією з відмінних особливостей конструкції цистерн для перевезення сипучої продукції від інших типів цистерн є метод їх розвантаження: бункерний або гравітаційний, механічний за допомогою транспортерів, пневматичний, комбінований і самоскидний. Найпоширенішим є пневматичний метод розвантаження, адже завдяки ньому виключається зіткнення вантажу з докільцями, він запобігає псуванню, втрату і забруднення.

Виділяють такі пневматичні методи розвантаження: аераційно-пневматичний, аерозольний і комбінований. При аераційно-пневматичному методі розвантаження всередину цистерни подається стиснуте під малим тиском повітря, рівним 0,05 МПа, а до розвантажувального патрубку - під тиском 0,15 ... 0,2 МПа.

Цистерни для транспортування сипучих вантажів можуть мати різну форму: циліндричну, кульову чи форму усіченого конуса. Зазвичай вони встановлюються на рухомому складі вертикально, або з невеликим горизонтальним нахилом назад.

З огляду на це метою кваліфікаційної роботи є удосконалення конструкції автомобіля для перевезення борошна.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості

У харчовому виробництві важливі всі етапи: від вирощування сировини до пакування готової продукції. До перевезення продуктів, в тому числі борошна, також пред'являються суворі вимоги. Їх перевозять спеціальним транспортом з причепами та напівпричепами. Сировина часто імпортується лише періодично. Тоді вигідніше орендувати борошновоз. Ця послуга позбавляє вас від необхідності ремонту та обслуговування автомобіля.

Спеціальні цистерни, призначені для перевезення борошна та інших сипучих продуктів, оберігають вантаж від псування, забруднення чи попадання сторонніх домішок. Правильна структура техніки дозволяє безконтактно і швидко розвантажувати вантаж. Зазвичай у борошновозах транспортують такі продукти: пшеничне борошно, солод, висівки, зерно. Завдяки прямому постачанню вантажу від виробника до покупця, транспортні перевезення в цистернах є набагато популярнішими залізничних.

У верхній частині борошновозів встановлені завантажувальні люки. Від розміру бункера залежить їх кількість. Розвантаження реалізують через нижні шлюзи. Сировину видувають завдяки подачі тиску стиснутого повітря, тому всі автоцистерни повинні бути обладнані автономними компресорами, які можуть подавати борошно по розвантажувальних рукавах на висоту до 30м.

За допомогою інтеркулерів охолоджують повітря. Цистерни фарбують в світлі тони для зменшення нагрівання продукту. Для безпечної роботи операторів і лаборантів, які беруть проби, на верхньому майданчику облаштовуються сходи і огорожа.

Харчові ємності кріплять до тягачів. Розрізняють такі групи борошновозів:

1. Цистерни на автомобільному шасі: їх місткість становить 23-32 м³. Це автономна техніка, її конструкція схожа з іншим вантажним транспортом.

2. Причіп: ємність об'ємом до 33 м³. Кріпиться до шасі за допомогою дишла і фаркопу.

3. Напівпричіп: є кілька типів різної місткості (13-80 м³). Це є один з популярних варіантів перевезення, адже він має найбільший обсяг, тому використовується для доставки вантажу за одну поїздку, що зменшує транспортні витрати і відбивається на вартості продукту.

Ємності для борошновозів виготовляють з харчового алюмінію або сталі. У кожного матеріалу є свої переваги. Алюміній – легкий і стійкий до корозії. Бункери, зроблені саме з цього матеріалу забезпечують довговічну службу і зменшують навантаження на зчеплення тягача, що знижує експлуатаційні витрати.

Більш бюджетним варіантом автоцистерн є ємності з низьколегованої або нержавіючої сталі. Їх головною перевагою є відносно низька ціна і простота ремонту.

1.2 Призначення та стан транспортного засобу

Спеціальні резервуари, в яких перевозять сипучі продукти, захищають вантаж від забруднень, сторонніх предметів і пошкоджень. Конструкція обладнання дозволяє швидко і без дотиків заповнювати і вивантажувати сировину. Крім основної продукції борошномовози можуть перевозити цукор, солод, висівки та зерно. Автомобільні перевезення в цистернах більш популярні, ніж залізничні, завдяки прямій доставці вантажу від виробника до покупця.

Розрізняють наступні групи борошновозів:

1. Цистерни на вантажному шасі: місткість 23–32 м³. Це автономний транспортний засіб, конструкція якого схожа на інші вантажні транспортні засоби.

2. Причіп: місткість до 33 м³. Кріпиться до шасі за допомогою зчіпного пристрою та фаркопа.

3. Напівпричіп: є кілька видів різної ємності (від 13 до 80 м³). Популярний варіант найбільшого обсягу використовується для доставки

вантажу за одну поїздку, що знижує транспортні витрати і відчувається на вартості товару.

Для доставки борошна з млинів на реалізаційні бази та хлібопекарські підприємства, обладнані безтарними установками, використовують різні типи спеціально сконструйованих муковозів. До них пред'являються певні вимоги:

- мінімальна маса обладнання, що забезпечує максимальне корисне навантаження;
- повне завантаження та швидке розвантаження, що дозволяє максимально використовувати муковоз;
- забезпеченість автономним розвантажувальним пристроєм.

З урахуванням цих вимог при виборі муковоза слід керуватися числом та обсягом перевезень, а також відстанями.

Найбільш раціональним є спеціальний транспорт, обладнаний цистернами, які встановлюють на шасі автомобіля або платформу залізничного вагона, де є обладнання, що забезпечує повне видалення борошна з цистерни. Для доставки борошна на хлібопекарські підприємства невеликої потужності використовують контейнери, що встановлюються на платформах вантажних автомобілів.

Муковоз актуальність оновлення розробки є дуже важливі з урахуванням охорони праці.

З метою збільшення радіусу доставки борошна автомуковозами та підвищення економічних показників транспортування виявилася необхідність створення автомуковозів більшої вантажопідйомності.

Застосування автомуковозів великої вантажопідйомності дозволить знизити вартість перевезень та підвищити коефіцієнт його використання.

1.3 Конструкція напівпричепа муковоза

На Одеському заводі «Продмаш» створено один із таких муковозів марки Л9-АМБ вантажопідйомністю 12,5 т, який зараз проходить експлуатаційну перевірку.

Автопоїзд-муковоз А9-АМБ (рис. 1.1) складається з тягача МАЗ-504А та цистерни-напівпричепа несучої безрамної конструкції. Горизонтальна циліндрична цистерна для забезпечення безперешкодного розвантаження сполучається з двома вертикальними конічними вирвами і розділена вертикальною перегородкою на дві секції по довжині. Для вирівнювання тиску в робочій ємності та просторі між конусами та внутрішньою поверхнею цистерни встановлені зрівняльні труби.

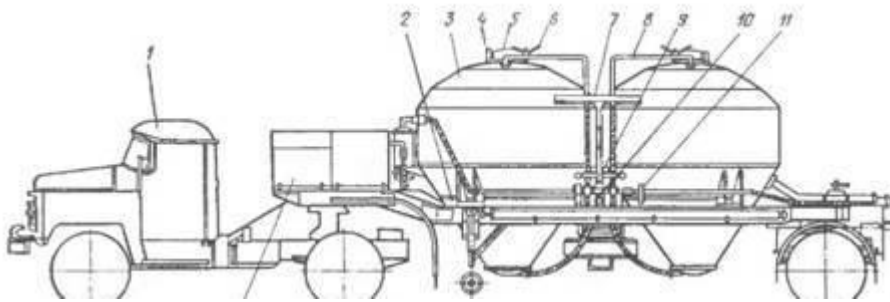


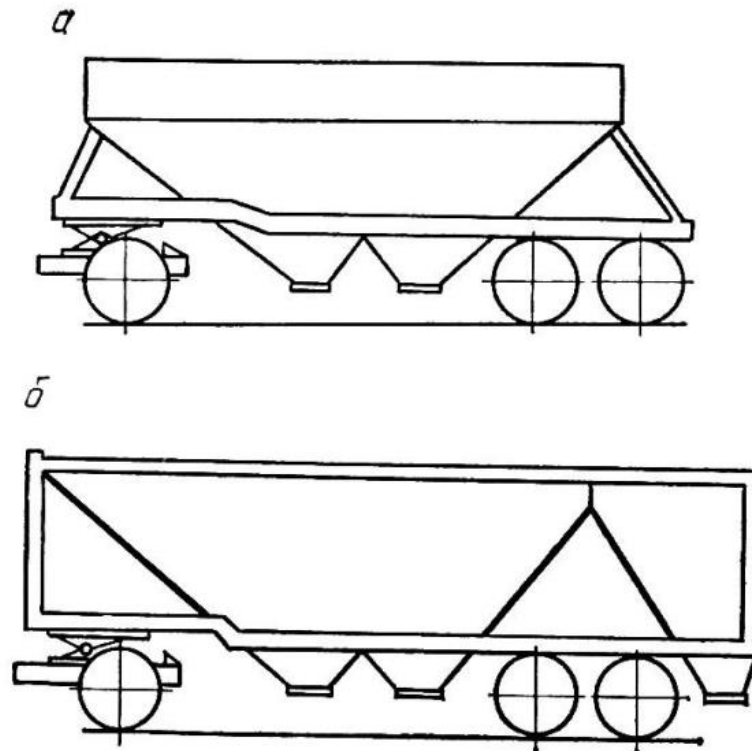
Рисунок 1.1 – Автомуковоз К-1040-Э.

Завантаження цистерни здійснюється через три люки, що закриваються герметичними кришками. Розвантаження цистерни пневматична, проводиться знизу шляхом подачі стисненого повітря до похилих днищ вирв, забезпечених аероприроями (флюїдизаторами). Розвантаження цистерни здійснюється послідовно шляхом подачі стисненого повітря в аероустрою кожного конуса через шланг з швидкороз'ємним замком.

У момент вивантаження борошно приводиться в псевдозріджений стан через пристрій, що аерує, і під впливом стисненого повітря витісняється з цистерни по трубопроводах в приймальні силоси. Діаметр розвантажувального шланга дорівнює 100 мм.

До сипучих вантажів, крім борошна, відносять мінеральні добрива (порошкові чи гранульовані), комбікорми і подібне. Їх переміщення здійснюється в цистернах постійного діаметра по довжині. За підтримки багатоланкових гідроциліндрів, які розташовані біля передньої стінки, відбувається розвантаження цистерн. Кут підйому 40...50°. Досить висока поздовжня жорсткість цистерн дозволяє виконувати їх у безрамному виконанні. Повна маса спеціального транспорту, до складу якого входить

напівпричіп-цистерна, може досягати 38 т. При гравітаційному способі розвантаження цистерн хоперного типу (рис. 1.2) спрощується їхня конструкція, але зменшується місткість.



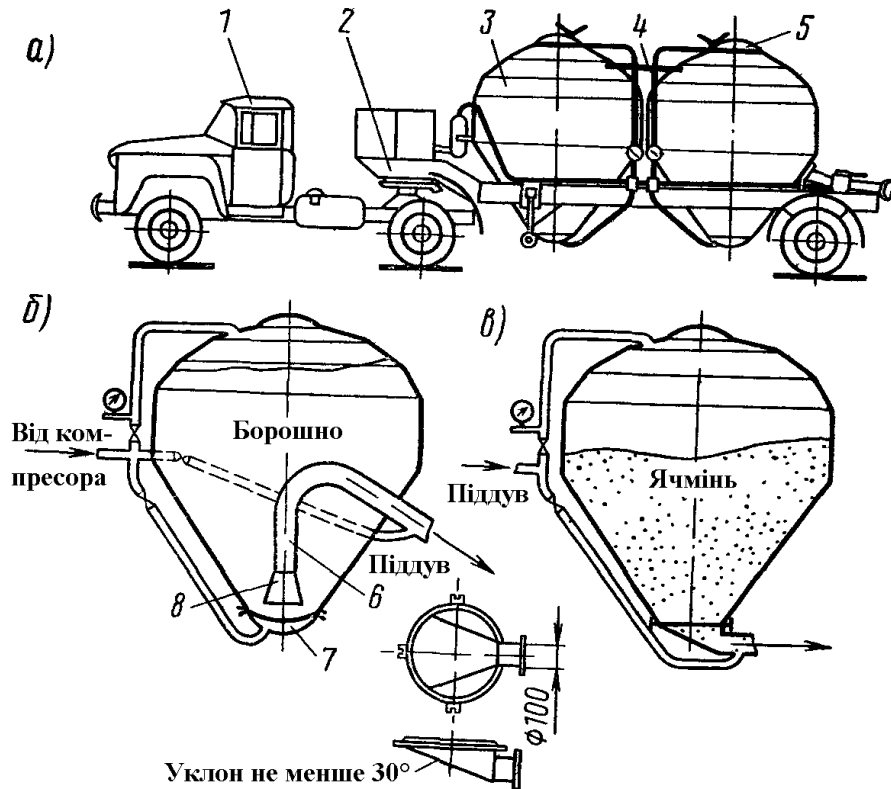
a – звичайної конструкції; *б* – з використанням гумових повітряних мішків (на схемі виділені)

Рисунок 1.2 – Цистерни-напівпричепи з хоперним розвантаженням

Безтарне переміщення борошна може відбуватися в контейнерах і цистернах. При малому вантажообігу або перевезенні борошна багатьох сортів на невеликі відстані зручно використовувати контейнерний метод. Ознайомимось із основними перевагами безтарного перевезення борошна: зменшення витрат на тару, зашивання; усунення втрат борошна (після висипання борошна з мішку, залишається ще близько 300г); можливість комплексної механізації вантажно-розвантажувальних робіт, що зменшує простої рухомого складу в місцях навантаження і розвантаження; забезпечення правильних санітарно-гігієнічних умов перевезення борошна.

Одеський завод продовольчого машинобудування виробляє напівпричіп-борошновоз К-1040Э з двома вертикально розташованими резервуарами (рис. 1.3) із пневматичним розвантаженням борошна і його

компресор із приводом від електродвигуна розміщений не на автомобілі-тягачі, а на напівпричепі.



a – автопоїзд; *б* – резервуар для перевезення борошна; *в* – резервуар для перевезення зерна.

Рисунок 1.3 – Автопоїзд-борошновоз К-1040Э та розріз конусної частини його резервуара

Саме це дозволяє значно скоротити будівництво автомобіля-тягача під розвантаженням напівпричепа і використовувати його з двома чи трьома напівпричепами. Уживання власної маси вантажу в поєднанні з розвантаженням борошна стиснутим повітрям забезпечує значне скорочення часу вивантаження.

Резервуари 3 (рис. 1.3, *a*) циліндрично-конічної форми вмонтовані на напівпричепі 2. Напівпричіп буксирується транспортним засобом-тягачем 1 (ЗІЛ-130В1). Платформа 4 і сходи використовуються для відкривання і закривання завантажувальних люків 5 і з метою очищення внутрішніх поверхонь резервуарів. Пристрій аерації, що розміщується у нижній частині резервуарів, зроблений з металевого днища і пористої перегородки.

Під дією власної маси і тиску повітря, поданого до напівсферичної верхньої частини резервуара і під пористу перегородку 7 (рис. 1.3, б), спочатку борошно в зваженому стані надходить в конус 8 і трубопровід б, а потім у розвантажувальний шланг. Стиснене повітря від компресора, розташованого на напівпричепі, надходить через два оливовологовідділювача до сферичних днищ, пристроїв аерації і до розвантажувального наконечника на піддув.

Інерційний оливо волого відділювач обладнаний пропускним краном для повернення оливи в картер компресора і манометром. Інший оливовологовідділювач обладнаний фільтром тонкого очищення і запобіжним клапаном. Оливовологовідділювачі з'єднані послідовно гнучким рукавом, який має спеціальну з'єднувальну головку.

Резервуари вивантажують послідовно. Розвантажувальні трубопроводи обох резервуарів з'єднуються з загальним розвантажувальним наконечником через засувку з рукояткою. При розвантаженні автомобіля-борошновоза за допомогою стаціонарної компресорної установки компресор борошновоза відключається шляхом роз'єднання з'єднувальної головки. При цьому стиснене повітря від пневмосистеми підприємства по трубопроводу, з'єднаному з рукавом фільтра тонкого очищення, подається в резервуар борошновоза.

Борошновоз К-1040Э може використовуватись і для перевезення зерна. Для цього необхідно внести деякі зміни в конструкцію резервуара цистерни. На рис. 1.3, в наведена схема розвантаження. У резервуарі борошновоза інше днище і вилучений трубопровід з конусом, через який здійснюється вивантаження борошна. Отвір для труби на конусній частині резервуара заглушується. Днище нової конструкції не має пристрою аерації, а місце підведення повітря перенесено безпосередньо до розвантажувального патрубку. Для поліпшення текучості зерна днище виконане з нахилом убік патрубка не менш 30°. Крани розвантажувального пристрою перенесені з задньої частини автомобіля-борошновоза в центр і розташовані між резервуарами з лівої сторони. Завдяки цьому здійснюється бічне

розвантаження. Керування повітряною магістраллю борошновоза здійснюється повітророзподільником, що складається з коркових кранів, зворотних клапанів і манометрів.

Борошновози К-1040Э має вантажопідйомність 7000 кг. Дальність подачі борошна 50 м, а висота відповідно 25 м.

Напівпричіп борошновоз

Rota Trailer виробляє різні види напівпричепів для перевезення цементу. Усі різноманітні сипучі продукти можна перевозити напівпричепом для перевезення вантажів. Цемент, пшениця, борошно, вапно та будь-які інші типи сипучих вантажів, придатні для перевезення напівпричепом.

Rota Trailer пропонує широкий асортимент напівпричепів для перевезення вантажів з різними специфікаціями та вантажопідйомністю з дизельними та електричними двигунами та компресорами.

Напівпричіп для насипного цементу Milenium, Напівпричіп для насипного цементу типу V, Напівпричіп для насипного цементу типу «Банан», Напівпричіп для насипного цементу типу «Тіпінг», Напівпричіп для перевезення борошна, Сталевий напівпричіп для насипного цементу, Алюмінієвий напівпричіп для насипного цементу трейлер.

Rota Trailer виробляє різні види напівпричепів для перевезення цементу.

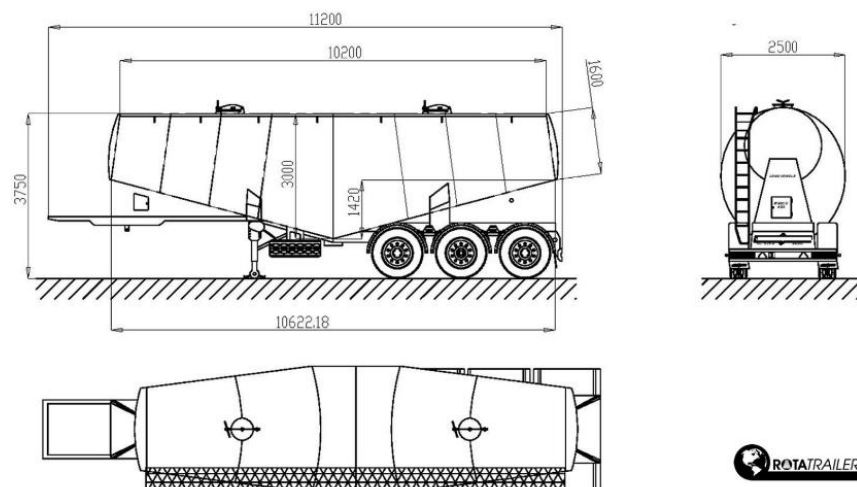


Рисунок 1.4 – Напівпричіп борошновоз фірми Rota Trailer

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики напівпричіп борошновоза фірми Rota Trailer

Модель	Цементовоз напівпричіп V типу, сталевий, 3 осі, з електричним компресором
Геометричний об'єм	45м ³
Порожня вага	12.000 кг +/- %5
Споряджений вантажник	62.500 кг
Тип	V ТИП, нижній розряд

Резервуарне обладнання:

- Пневмопідвіска
- EBS (WABCO) 2S/2M
- Система підйому осі, що керується з автомобіля
- Клапан регулювання ваги, двоманалітна гальмівна система з фільтром

- Шпилька KING по SAE-DIN 3,5" з болтом
- Призадна нога подвійна швидкість динамічне навантаження 24 тонни телескопічна нога високої відповідності

- 6 штук амортизатора (підвіска)
- Автоматичний регулятор гальм
- Пружинна камера 2 штуки
- 1 штука для записної шини
- Пластиковий бризковик легкого типу
- 2 частини малоуловників
- 3 частини осі пневмопідвіси (кос)
- ШИНИ 385/65 R22, 5 (PIRELLI) МАРКА 6 +1 ОД

Електрична система:

Електричні установки 24 в (норми есс)

2 штати 7 позиційних сертифікованих задніх стоп-лампи е

4 штуки ліхтів для номерних знаків

Бокові фари 4 штуки

2 частини фар (передні) 4 штати лампи верх баків і дниз

2 фари (задні)

Зовнішні світлі нічного бачення

Рефлектори

1.4 Висновок до розділу

У розділі розглянуто борошновози, які потрібні для перевезення борошна та інших сипучих продуктів. Реалізацію завантаження і розвантаження сировини за допомогою автономних компресорів. Також розглянули групи борошновозів, а саме цистерни, причіп, напівпричіп їхні ємності і матеріали з яких виготовляють бункери для транспортування та їхні переваги.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок споживаної потужності пристрою

Розраховуємо всмоктувальну і нагнітальну системи пневмотранспортного механізму для транспортування борошна в кількості 38 м^3 на годину.

Протяжність матеріалопроводу пневмотранспортера складає 25 м. Приймаємо значення масової концентрації $\mu_{гран}$ для транспортованих продуктів $\mu_{гран} = 0,45 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Попередня витрата повітря в пневмотранспортері становить:

$$Q_{гран} = \frac{38}{60 \cdot 60} = 0,0106 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2.1)$$

Знаходимо розрахункову витрату повітря:

$$Q_{розрах} = 1,25 \cdot Q_{гран} = 1,25 \cdot 0,0106 = 0,01325 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2.2)$$

По аеродинамічній характеристиці попередньо вибраного трубоповітряного пристрою ТБ-100-1,2 визначаємо, що витрати повітря $0,01325 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ відповідає тиск $H_{В.М.} = 14,8 \text{ кПа}$.

Попереднє значення повної втрати тиску в пристрої:

$$H_{ПУ} = 0,9 H_{В.М.} = 0,9 \cdot 14,8 = 13 \text{ кПа}. \quad (2.3)$$

Для матеріалопровода приймаємо надійно транспортувальну (розрахункову) швидкість повітря $V_{розрах} = 5 \text{ м} / \text{с}$. Визначимо заздалегідь діаметр матеріалопровода:

$$D_{гран} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{Q_{гран}}{V_{розрах}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,0106}{21}} = 0,026 \text{ м}. \quad (2.4)$$

У номенклатурі трубопроводів немає труби з внутрішнім діаметром 0,026 м. Тому приймаємо найближчу діаметром 0,025 м. Залишивши без змін величину швидкості повітряного потоку в матеріалопроводі, уточнюємо значення Q і μ , продовжуємо розрахунок.

$$Q_{\text{розрах}} = 0,785 \cdot D^2_{\text{розрах}} \cdot v_{\text{розрах}} = 0,785 \cdot 0,025^2 \cdot 21 = 0,0103 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.5)$$

$$\mu_{\text{розрах}} = G_{\text{розрах}} \cdot (Q_{\text{розрах}} / Q_{\text{гран}}) = 0,45 \cdot (0,0103 / 0,0106) = 0,463 \text{ кг} / \text{м}^3. \quad (2.6)$$

Визначаємо втрати тиску в приймальному пристрої типу «сопло»:

$$H_{\text{пр}} = \zeta_{\text{пр}} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho \cdot v_{\text{розр}}^2}{2} = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1,2 \cdot 21^2}{2} = 0,19 \text{ кПа}. \quad (2.7)$$

Визначаємо втрати тиску на розгін борошна в пневмотранспортері:

$$H_{\text{розг}} = 1,12 \cdot \mu_{\text{розрах}} \cdot v_{\text{розрах}} \cdot 10^{-3} = 1,12 \cdot 0,0463 \cdot 21^2 \cdot 10^{-3} = 0,228 \text{ кПа}. \quad (2.8)$$

Визначимо величину втрати тиску, пов'язану з транспортуванням аеросуміші по вертикальній ділянці матеріалопровода протяжністю 10 м і після неї горизонтальній ділянці довжиною 2,5 м і сполученого з нею відводом:

$$H_{\text{тр.в}} = H_{\text{ч.в}} \cdot (1 + K_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{розрах}}) \text{ кПа}, \quad (2.9)$$

$$H_{\text{тр.гор}} = H_{\text{ч.гор}} \cdot (1 + K_{\text{гор}} \cdot \mu_{\text{розрах}}) \text{ кПа}, \quad (2.10)$$

$$H_{\text{ч.в}} = R \cdot l_{\text{в}}, \quad (2.11)$$

$$R = 13 \cdot 10^{-6} \frac{v_{\text{розрах}}^{1,75}}{D_{\text{розрах}}^{1,75}} = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{21^{1,75}}{0,025^{1,75}} = 0,17. \quad (2.12)$$

На вертикальній ділянці:

$$H_{\text{ч.в}} = R \cdot l_{\text{в}} = 0,17 \cdot 10 = 1,7 \text{ кПа}. \quad (2.11)$$

Відповідно по горизонтальній ділянці:

$$H_{\text{ч.гор}} = R \cdot l_{\text{гор}} = 0,17 \cdot 2,5 = 0,425 \text{ кПа}. \quad (2.13)$$

Визначаємо величину коефіцієнта $K_{\text{в}}$ для борошна при вертикальному транспортуванні:

$$K_{\text{в}} = 0,135 \cdot \frac{D_{\text{розрах}}^{-10}}{v_{\text{розрах}}^{1,33}} = 0,24 \cdot \frac{25^{-10}}{21^{1,33}} = 0,063. \quad (2.14)$$

При переміщенні по горизонталі:

$$K_{\text{гор}} = 0,135 \cdot \frac{D_{\text{розрах}}}{v_{\text{розрах}}^{1,25}} = 0,35 \cdot \frac{25}{21^{1,25}} = 0,075 \quad (2.15)$$

Втрати тиску при переміщенні аеросуміші по вертикальній ділянці:

$$H_{\text{тр.в}} = H_{\text{ч.в}} \cdot (1 + K_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{розр}}) = 1,7 \cdot (1 + 0,063 \cdot 0,463) = 1,71 \text{ кПа}.$$

Визначаємо втрати тиску у відводі, що слідує за вертикальною ділянкою і має кут повороту 90° і радіус $r=1,5$ м:

$$H_0 = H_{0,ч} \cdot (1 + K_0 \cdot \mu_{розр}) + K_{розг.0} \cdot \Delta_y \quad (2.16)$$

$$H_{0,ч} = \Delta_0 \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v_{розр}^2}{2} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 0.65 \cdot \frac{1.2 \cdot 21^2}{2} \cdot 10^{-3} = 0.17 \text{кПа.}$$

Значення коефіцієнта K_0 знаходимо по співвідношенню:

$$K_0 = \frac{B \cdot D_{розр}}{\left(v_{розр}^{1.25} \cdot \left(\frac{r}{D_{розрах}} \right)^m \right)} = \frac{0.45 \cdot 0.025}{\left(21^{1.25} \cdot \left(\frac{1.5}{0.025} \right)^{0.23} \right)} = 0.84. \quad (2.17)$$

Втрати тиску на розгін борошна після відводу з урахуванням коефіцієнта A_y складають:

$$H_{розг.0} \cdot \Delta_y = 1.12 \cdot \mu_{розр} \cdot v_{розр}^2 \cdot \Delta_y \cdot 10^{-3} = 1.12 \cdot 0.463 \cdot 21^2 \cdot 0.3 \cdot 10^{-3} = 0.69 \text{кПа.} \quad (2.18)$$

Втрати тиску у відводі:

$$H_0 = H_{0,ч} \cdot (1 + K_0 \cdot \mu_{розр}) + K_{розг.0} \cdot \Delta_y = 0.17 \cdot (1 + 0.84 \cdot 0.463) + 0.73 = 0.97 \text{кПа.} \quad (2.19)$$

Визначаємо втрати тиску на підйом борошна по вертикальній частині пневмотранспортера:

$$H_{під} = 10^{-2} \cdot \rho_g \cdot \mu_{розр} \cdot l_g = 10^{-2} \cdot 1.2 \cdot 0.463 \cdot 10 = 0.056 \text{кПа.} \quad (2.20)$$

Вибираємо фільтр-циклон. Витрата повітря, що надходить в циклон, з урахуванням збільшення його об'єму в пневмотранспортері рівна:

$$Q_0 = 1.1 \cdot Q_{розр} = 1.1 \cdot 0.0113 \text{м}^3 / \text{с.} \quad (2.21)$$

Вибираємо відцентровий фільтр типу ЦР з діаметром циліндричної частини 450 мм.

Швидкість повітря у вхідному патрубку фільтра-циклона визначається:

$$v_{вх} = \frac{Q_0}{a \cdot b} = \frac{0.374}{0.09 \cdot 0.26} = 16 \text{м/с.} \quad (2.22)$$

Величина швидкості повітря у вхідному патрубку циклона відповідає оптимальному значенню.

Втрати тиску у відцентровому фільтрі:

$$H_{розв} = \zeta_{ц} \cdot \frac{\rho_g \cdot v_{вх}^2}{2} \cdot 10^{-3} = 4.5 \cdot \frac{1.1 \cdot 16^2}{2} \cdot 10^{-3} = 0.63 \text{кПа.} \quad (2.23)$$

Визначаємо втрати тиску в механізмі для вимірювання і регулювання витрати повітря в пневмотранспортері, прийнявши його вхідний діаметр 0,01 м:

$$H_{\epsilon.p} = 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho_{\epsilon} \cdot Q_{\epsilon p}^2}{K_p^2} \cdot 10^{-3} = 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1.1 \cdot 0.37^2}{0.065^2} = 0.1 \text{кПа}. \quad (2.24)$$

Знаходимо втрати тиску у всмоктувальній частині пневмотранспортера:

$$\begin{aligned} H_{\epsilon c} &= H_{np} + H_{розг} + H_{тер.в} + H_{тер.зоп} + H_{від} + H_{нід} + H_{розв} + H_{к.p} = \\ &= 0.19 + 0.228 + 1.71 + 0.426 + 1.66 + 0.056 + 0.63 + 0.1 = 4 \text{кПа} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Розраховуємо напірну частину пневмотранспортера.

Розраховуємо типорозмір шлюзового живильника.

Розрахунковий об'єм живильника:

$$V = \frac{G_M}{z} = \frac{0.00477}{8} = 0.0006 \text{м}^3. \quad (2.26)$$

Найбільший близький до розрахункового корисний об'єм $V_k = 0.001 \text{м}^3$ має шлюзовий живильник М-122. Подача живильником М-122 при транспортуванні борошна рівна 0.008кг/с . Складаємо аеродинамічну характеристику механізму. Вибираємо ряд значень в межах від 16 до 100 кПа. Проводимо розрахунки стосовно одного значення: $H_M = 16 \text{кПа}$. Кінцева швидкість повітряного потоку в матеріалопроводі (початкова швидкість $V_{п.п}$ прийнята рівною 7 м/с) рівна:

$$v_{n.k} = v_{n.n} \cdot \left(1 + \frac{H_M}{10}\right) = 7 \cdot \left(1 + \frac{8.16}{10}\right) = 8.15 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (2.27)$$

Середня швидкість повітряного потоку в матеріалопроводі:

$$v_{n.сep} = \frac{v_{n.n} + v_{n.k}}{2} = \frac{7 + 8.16}{2} = 7.57 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (2.28)$$

Питома втрата тиску в матеріалопроводі:

$$\Delta H_M = \frac{H_M}{L_M} = \frac{16}{10} = 1.6 \text{кПа}. \quad (2.29)$$

Масова концентрація матеріалу в аеросуміші:

$$\mu = \frac{\Delta H}{6.5 \cdot 10^{-6} \cdot v_{n.сep}^{0.72}} = \frac{1.6}{6.5 \cdot 10^{-6} \cdot 7.57^{0.72}} = 0.57 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (2.30)$$

Витрата повітря в матеріалопроводі:

$$Q_m = \frac{G_m}{1.2 \cdot \mu} = \frac{0.0048}{1.2 \cdot 0.57} = 0.007 \frac{M^3}{c}. \quad (2.31)$$

Величина витоку повітря з живильника:

$$q_n = 0.33 \cdot 10^{-3} \cdot H_m = 0.33 \cdot 10^{-3} \cdot 16 = -0.0053 \frac{M^3}{c}. \quad (2.32)$$

Витрата повітря в машині:

$$Q_y = Q_m + q_n = 0.007 + 0.0053 = 0.0123 \frac{M^3}{c}. \quad (2.33)$$

Діаметр матеріалопроводу:

$$D_m = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{Q_m}{v_{n,k}}} = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{0.0048}{8.15}} = 0.027 M. \quad (2.34)$$

Витрати тиску в шлюзному живильнику:

$$H_{жс} = 1 + 0.03 \cdot \frac{G_m}{V_{жс}} = 1 + 0.03 \cdot \frac{0.0048}{0.1} = 1.01 \text{кПа}. \quad (2.35)$$

Діаметр повітропроводу:

$$D_g = 11.3 \cdot \sqrt{Q_y \cdot \frac{v_{n,n}}{100 + H_m + H_{жс}}} = 11.3 \cdot \sqrt{0.0123 \cdot \frac{7}{100 + 16 + 1.01}} = 0.306 M. \quad (2.36)$$

Питомі втрати тиску в повітропроводі:

$$R = \frac{232 \cdot 10^5 \cdot (4320 \cdot Q_y)^{1.9}}{D^5 \cdot (100 + H_m + H_n)} = \frac{232 \cdot 10^5 \cdot (4320 \cdot 0.0123)^{1.9}}{30^5 \cdot (100 + 16 + 1.01)} = 0.15 \text{кПа}. \quad (2.37)$$

Втрати тиску в напірному повітроводі:

$$H_{нв} = R \cdot (L_n + L_{екв}) = 0.15 \cdot (16 + 1.01) = 2.55 \text{кПа}. \quad (2.38)$$

Величина витоку повітря з живильника:

$$q_{жс} = 0.33 \cdot 10^{-3} \cdot H_m + 0.33 \cdot 10^{-3} \cdot 16 = 0.005 \frac{M^3}{c} \quad (2.39)$$

Втрата тиску в шлюзовому живильнику:

$$H_{ж} = 1 + 0.03 \cdot \frac{G_m}{v} = 1 + 0.03 \cdot \frac{0.0048}{0.1} = 1.01 \text{кПа}. \quad (2.40)$$

Витрата повітря в напірній частині машини:

$$Q_n = Q_y + q_n = 0.0123 + 0.0053 = 0.0176 \frac{M^3}{c} \quad (2.41)$$

Діаметр матеріалопроводу:

$$D_M = 1,13 * \sqrt{\frac{Q_H}{v_{н.к}}} = 1,13 * \sqrt{\frac{0,0176}{8,96}} = 0,05 \text{ м} \quad (2.42)$$

Втрати тиску в пристрої:

$$H_n = H_{вс} + H_H = 4 + 2,55 = 6,55 \text{ м} \quad (2.43)$$

Визначимо величину тиску повітродувної машини, віднесену до нормальних умов, тобто до значення, вказаного на аеродинамічній характеристиці.

Потужність, необхідна для приводу повітродувної машини:

$$N_{\text{потрібна}} = \frac{Qn + H_n}{\eta_n + \eta_{\text{пер}} + \eta_{\text{под}}} = \frac{1,06 + 6,55}{0,72 + 0,98 + 0,98} = 10 \text{ кВт} \quad (2.44)$$

2.2 Визначення розмірів ежектора

Для визначення розмірів ежектора задаємо діаметром сопла d_i . Приймаємо $d_i = 16$ мм. Задаємо коефіцієнт ежекції K_E , який для ежекторних сопел є в межах 0.6 - 0.9. Приймаємо $K_E = 0.6$. Задаємо робочу витрату повітря Q_p , яка приймається дещо меншою подачі повітродувного механізму (необхідно враховувати пневматичні втрати). Відповідно до вибраних діаметра сопла і коефіцієнта ежекції по нижченаведеній таблиці знаходимо діаметр камери змішування d_3 .

K_e	0,6	0,7	0,7	0,8
d_2/d_3	1,71	1,8	1,89	1,97

Величина ежектованого потоку знаходиться за формулою:

$$Q_e = Q_b \cdot K_e = 0,0106 \cdot 0,6 = 0,0064 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (2.45)$$

Діаметр дифузора розраховується за формулою:

$$d_5 \leq 1.7 * d_3 = 1.7 * 28 = 48 \text{ мм} \quad (2.46)$$

Приймаємо діаметр дифузора рівним 50 мм, що відповідає діаметру продуктопроводу. Довжина сопла дорівнює:

$$l_c = (6 \dots 10) * d_1 = (6 \dots 10) * 16 = 96 \dots 160 \text{ мм} \quad (2.47)$$

Приймаємо довжину сопла 120 мм.

Довжина циліндричної частини вихідного перетину сопла розраховується за формулою:

$$l_{c2} = (0,25 \dots 0,5) * d1 = (0,25 \dots 0,5) * 16 = 4 \dots 8 \text{ мм} \quad (2.48)$$

Прийmemo довжину циліндричної частини 6 мм.

Відстань від сопла до вхідної ділянки камери змiщення:

$$l_{c1} = (1 \dots 1,5) * d1 = (1 \dots 1,5) * 28 = 28 \dots 42 \text{ мм} \quad (2.49)$$

Приймаемо $l_{c1} = 35$ мм.

Довжина вхідної ділянки камери змiщення є:

$$l_{c2} = (0,8 \dots 1,0) * d3 = (0,8 \dots 1,0) * 28 = 22,4 \dots 28 \text{ мм} \quad (2.50)$$

Приймаемо $l_{c1} = 25$ мм.

Довжина циліндрової частини камери змiщення є:

$$l_{д} = (4 \dots 8) * d3 = (6 \dots 7) * 28 = 112 \dots 224 \text{ мм} \quad (2.51)$$

Приймаемо $l_{к} = 160$ мм.

Довжина дифузора розраховується по формулі:

$$l_{д} = (6 \dots 7) * (d5 - d3) = (6 \dots 7) * (50 - 28) = 132 \dots 154 \text{ мм} \quad (2.52)$$

Прийmemo $L = 145$ мм.

Діаметр приймальної частини камери змiщення знаходиться по формулі:

$$d4 = d3 + l_{c2} = 28 + 25 = 52 \text{ мм} \quad (2.53)$$

2.3 Розрахунок відцентрової помпи повітрянадувного механізму

Вихідними даними для розрахунку помпи є: подача повітря $Q = 38$ м; $V_{зод} = 0.633$ м /хв.; напір $H = 6.55$ кПа; частота обертання $n = 4000$ об/хв; робоче тіло– повітря.

Для визначення типу конструкції помпи розраховуємо коефіцієнт швидкості $n_{шв}$:

$$n_{шв} = \frac{3,65 * n * \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{3,65 * 4000 * \sqrt{0,633}}{1,24^{\frac{3}{4}}} = 9885$$

За формулою визначаємо об'ємний ККД η_0 :

$$\eta_0 = \frac{1}{1 * a * n_{шв}^{-0,66}} = \frac{1}{1 * 0,68 * 9885^{-0,66}} = 0,988$$

Де коефіцієнт a залежить від співвідношення між діаметрами входу і становить: $a=0,68$.

Потім обчислюємо приведенний діаметр D_{in} :

$$D_{1n} = 4,25 * \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = 4,25 * \sqrt[3]{\frac{0,633}{4000}} = 0,230 \text{ м} = 230 \text{ мм}$$

Гідравлічний ККД розраховуємо за формулою:

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1n} - 0,172)^2} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 230 - 0,172)^2} = 0,77$$

Механічний ККД приймаємо $\eta_{max} = 0,93$

Знаходимо повний ККД η по формулі:

$$\eta = \eta_0 * \eta_{\Gamma} * \eta_{max} = 0,958 * 0,77 * 0,93 = 0,686$$

Визначаємо потужність насоса N по формулі:

$$N = \frac{\rho * g * Q * H}{1000 * \eta} = \frac{1,021 * 9,8 * 0,633 * 1240}{1000 * 0,686} = 11,4 \text{ кВт}$$

Момент M розраховуємо за формулою:

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{30 * N}{\pi * n} = \frac{30 * 11400}{3,14 * 4000} = 2,722 \text{ Н * м} = 2722 \text{ мм}$$

Діаметр валу d_B визначаємо за формулою:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 * M}{3,14 * [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 2722}{3,14 * 150}} = 45 \text{ мм}$$

де $[\tau]$ допустима напруга матеріалу валу при крученні. Приймаємо $d_B = 50$.

Розраховуємо діаметр ступиці d_{cm} за формулою:

$$d_{cm} = 1,2 * d_B = 1,2 * 50 = 60 \text{ мм} \quad (2.4.9)$$

Приймаємо $d_{cm} = 60$ м.

Діаметр входу в колесо D_j обчислюємо за формулою:

$$\frac{\pi * D_{1n}^2}{4} = \frac{\pi * D_1^2}{4} - \frac{\pi * d_{cm}^2}{4}$$

$$D_1 = \sqrt{D_{1n}^2 + d_{cm}^2} = \sqrt{230^2 + 60^2} = 238 \text{ мм}$$

Довжину ступиці l_{cm} розраховуємо за формулою:

$$l_{cm} = 1,4 * d_{cm} = 1,4 * 60 = 84 \text{ мм}$$

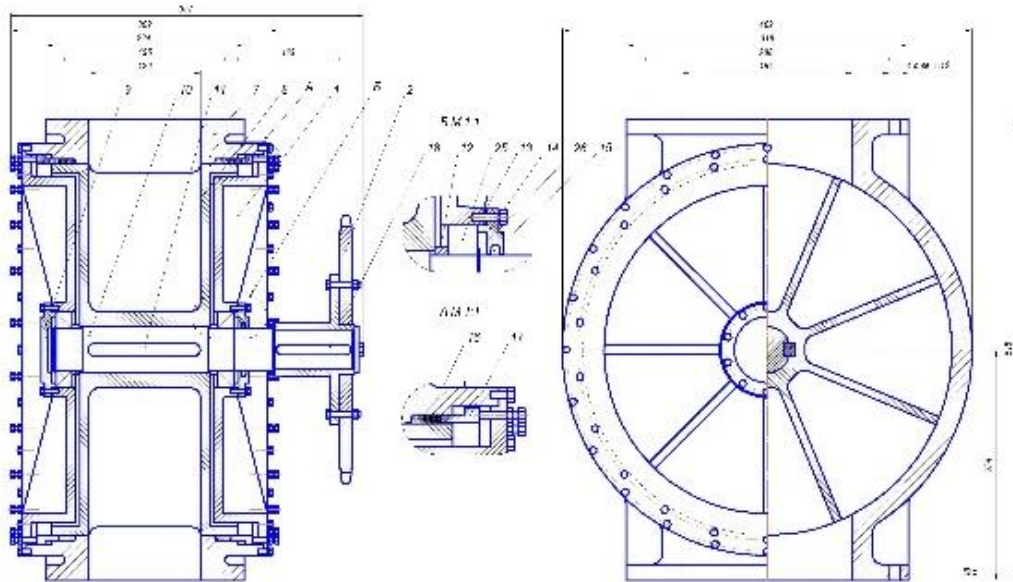


Рисунок 2.1 – Ескіз робочого колеса відцентрової помпи.

Колову швидкість на вході в робоче колесо u_1 розраховуємо по формулі:

$$u = \frac{\pi * D_1 * n}{60} = \frac{3,14 * 0,230 * 4000}{60} = 48 \text{ м/с}$$

Швидкість входу в робоче колесо розраховуємо за формулою:

$$u = \frac{4 * Q}{\eta * \pi * (D_1^2 + d_{\text{ТМ}}^2)} = \frac{4 * 0,633}{0,77 * 3,14 * (0,230^2 + 0,06^2)} = 21,2 \text{ м/с}$$

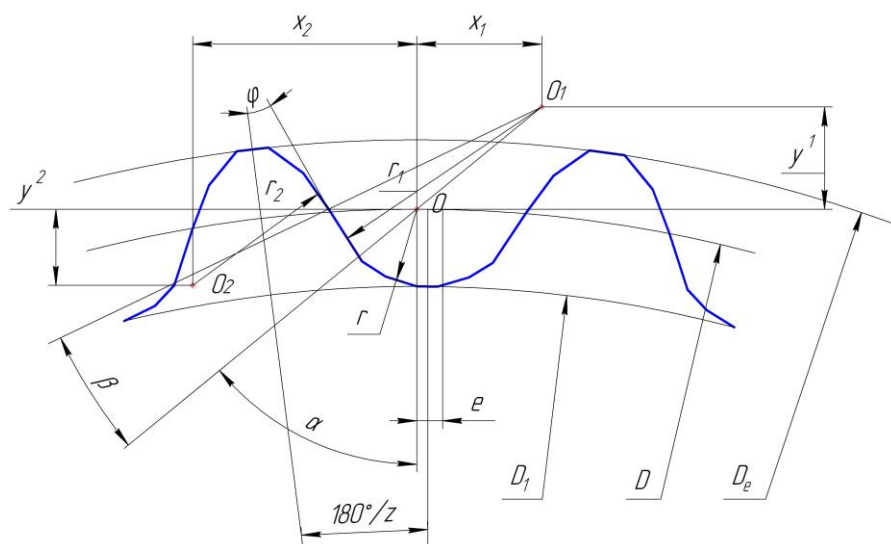


Рисунок 2.2 – Схема паралелограма швидкостей в колесі помпи.

З вхідного паралелограма знаходимо β_1 по формулі:

$$\text{tg} \beta_1 = \frac{c}{u} = \frac{21,2}{48} = 0,442 \quad \beta_1 = 24^\circ$$

При коефіцієнті стиснення вхідного перетину міжлопатевого каналів $\mu = 0,9$ розраховуємо ширину лопаті b_1 на вході по формулі:

$$b_1 = \frac{Q}{\pi * D_1 * c_1 * \mu_1} = \frac{0,633}{3,14 * 0,230 * 21,2 * 0,9} = 0,046 \text{ м} = 46 \text{ мм}$$

Приймаємо $\beta_2 = 36^\circ$ і розраховуємо колову швидкість u_2 на виході з колеса:

$$u_2 = \frac{1}{2} * 5,6 * \text{ctg} \beta_1 + \sqrt{\left(\frac{5,6 * \text{ctg} \beta_1}{2}\right)^2 + \frac{H * g}{\eta_s}} = \frac{1}{2} * 5,6 * 1,38 + \sqrt{\left(\frac{5,6 * 1,38}{2}\right)^2 + \frac{6,55 * 9,8}{0,77}} = 38,3 \text{ м/с}$$

Розраховуємо діаметр D_2 на виході з колеса по формулі:

$$D_2 = \frac{60 * u_2}{\pi * n} = \frac{60 * 38,3}{3,14 * 4000} = 0,537 \text{ мм}$$

Ширину лопаті b_2 на виході визначаємо по формулі:

$$b_2 = b_1 * \frac{D_1}{D_2} = 280 * \frac{218}{537} = 113 \text{ мм}$$

Число лопатей Z визначаємо по формулі:

$$Z = K * \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} * \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = 6,5 * \frac{0,14 + 0,0664}{0,14 - 0,0664} * \sin \frac{36^\circ + 24^\circ}{2} = 24$$

2.4 Висновок до розділу

Здійснено розрахунок споживаної потужності пристрою, відцентрової помпи повітрянадувного механізму, а також визначено розміри ежектора.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз динаміки та розрахунок на міцність симетрично навантаженої несучої конструкції цистерни

Вхідні параметри для аналітичної моделі наведено в таблиці 3.1. Розрахунок базувався на параметрах візка 18–100.

Таблиця 3.1. Вхідні параметри для аналітичної моделі

Параметр	Значення
НЕСУЧА КОНСТРУКЦІЯ	
Маса, т	14,9
ВІЗКИ	
Маса, т	4,3
Жорсткість ресорної підвіски, кН/м	8000
Коефіцієнт відносного тертя	0,1
ДОРІЖКА	
Коефіцієнт демпфування, кН·с/м	200
Жорсткість, кН/м	100000
Амплітуда нерівномірності, м	0,01
Довжина нерівності, м	25

При цьому жорсткість пружних елементів в опорах котла дорівнювала 4000 кН/м і визначена розрахунком з умови забезпечення динаміки вагона-цистерни в межах допустимих значень. Тобто вертикальне прискорення не повинно перевищувати 0,75 g при русі автомобіля в порожньому стані і 0,65 g у навантаженому для «допустимого» руху автомобіля [22], [23].

Обмеження аналітичної моделі полягає в тому, що вона не враховує коливання сипучого вантажу в котлі, тобто вантаж розглядається як прикріплена маса, яка повністю повторює рух котла в котлі. вертикальна площина.

Зменшити динамічне навантаження на вагон-цистерну можна за рахунок застосування фрикційних зв'язків, що реалізуються за допомогою пружних елементів між цистерною та її опорою (рис. 3.1). Рішення було запропоновано на рівні концепції; тому на даному етапі дослідження не розглядалися особливості розміщення пружних елементів на опорах котла та

варіанти їх виконання (матеріал з відповідними властивостями або пристрої, що працюють за принципом демпфера тертя). Ця реалізація в основному спрямована на зниження динамічного навантаження несучої конструкції вагона-цистерни у вертикальній площині, оскільки підстрибуючі коливання є найбільш поширеним видом руху автомобіля в експлуатації. У зв'язку з цим нами досліджувалися саме вертикальні переміщення цистерни.

Для більшої точності результатів використовувався графічний редактор MathCad. Індекс рядків матриці Z позначається через j . Припускається, що j знаходиться в діапазоні 1–5000.

Наступним етапом досліджень був розрахунок на міцність несучої конструкції цистерни. Геометричну модель несучої конструкції цистерни створено в програмному комплексі SolidWorks (рис. 3.1).

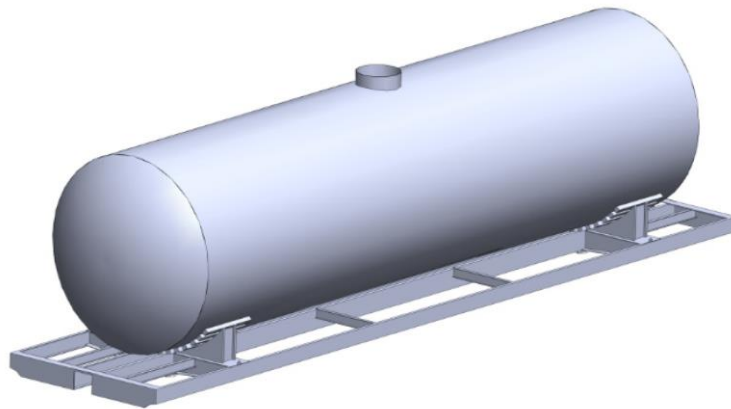


Рисунок 3.1 – Просторова модель несучої конструкції цистерни.

Розрахунок проводився за допомогою методу кінцевих елементів у SolidWorks Simulation. Розрахунок проводився за критерієм Мізеса (IV енергетична теорія). Скінченно-елементна модель несучої конструкції вагона-цистерни представлена на рисунку 3.2. Оптимальна кількість елементів у сітці визначена графічним аналітичним методом [22]. За кінцеві елементи прийнято просторові ізопараметричні тетраедри [22], [23]. У цьому випадку побудовано залежність напружень від кількості елементів сітки. На підставі розрахунків встановлено, що ця залежність є лінійною. На незалежні від сітки рішення не впливає уточнення сітки, що забезпечує стабільне рішення. Немає різниці в обертах, коли кількість елементів досягає 721, 195.

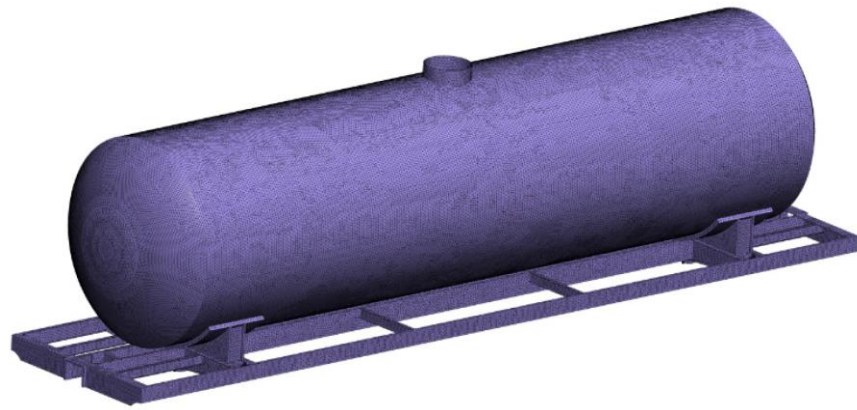


Рисунок 3.2 – Скінченно-елементна модель несучої конструкції цистерни

Кількість елементів у сітці становила 721, 195, а вузлів – 232, 420. Максимальний розмір елемента в сітці становив 40 мм, мінімальний розмір – 8 мм, максимальне співвідношення сторін елемента – 93, 724; відсоток елементів із відношенням сторін менше трьох становив 21,8, а більше 10 – 0,414.

Розрахункова схема несучої конструкції цистерни представлена на рис. 3.3.

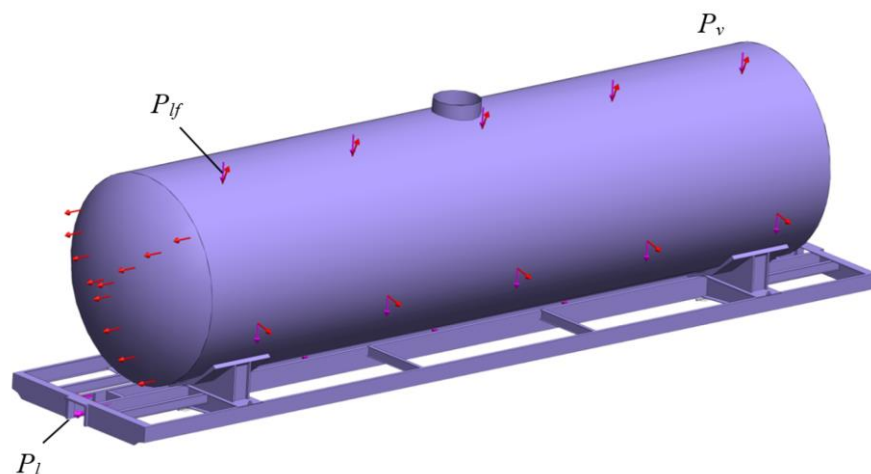


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема несучої конструкції цистерни.

Модель була закріплена в місцях опори на візках. В якості конструкційного матеріалу була взята сталь 09Г2С. Матеріал має лінійно-пружні ізотропні властивості. Основні характеристики міцності матеріалу наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Основні характеристики міцності матеріалу.

Параметр	Значення
Модуль пружності, МПа	2.1×10^5
Коефіцієнт Пуассона	0.28
Модуль зсуву, МПа	7.9×10^3
Масова щільність, кг/м ³	7800
Міцність на розрив, МПа	490
Межа текучості, МПа	345

Розрахунок міцності несучих конструкцій цистерни проводився за I режимом розрахунку (ривок–кручення). Вважалося, що на несучу конструкцію діють такі навантаження: поздовжнє навантаження P_l , яке прикладалося до передніх опор муфт і дорівнює 2,5 МН, тиск від рідкого вантажу P_{lf} і вертикальне навантаження P_v , що включає динамічне навантаження, визначене за допомогою аналітичного моделювання. При цьому вважалося, що навантаження P_l прикладено без урахування прогину автозчипки в поздовжній площині.

При проведенні розрахунків за допомогою опцій програмного комплексу між котлом та його опорами були встановлені пружні зв'язки. Для врахування складової тертя враховувалася сила тертя, яка прикладалася в зонах взаємодії котла з опорами.

Для визначення полів розподілу прискорень, що діють на несучу конструкцію цистерни, а також їх числових значень було проведено чисельне моделювання динамічного навантаження її несучої конструкції. Дослідження проводились згідно зі схемою проектування, наведеною на рис. 3.3 у програмному пакеті SolidWorks Simulation. Однак модель не враховувала поздовжні навантаження, що діють на несучу конструкцію вагона-цистерни.

Додатково в рамках дослідження розраховано проектний ресурс несучої конструкції вагона-цистерни.

Розрахунковий ресурс цистерни визначали за методикою, представленою в [23]:

$$T_n = \frac{(\sigma_{-1E} / [n])^m N_0}{B f_d \sigma_{ad}^m}, \quad (3.1)$$

де σ_{-1E} – середнє значення межі витривалості; n – допустимий коефіцієнт міцності; m – показник степеня кривої втоми; N_0 – тестова база; B – коефіцієнт, що характеризує безперервну роботу в секундах; f_d – ефективна частота динамічних напружень; σ_{ad} – амплітуда еквівалентних динамічних напружень.

Амплітуду еквівалентних динамічних напружень визначали за формулою:

$$\sigma_{ad} = \sigma_{st} (k_{dv} + \psi_v / K_v), \quad (3.2)$$

де σ_{st} – напруження, викликані статичним ваговим навантаженням; k_{dv} – вертикальний динамічний коефіцієнт; ψ_v – коефіцієнт чутливості; K_v – загальний коефіцієнт зниження втомної міцності.

Під час визначення амплітуди еквівалентних динамічних напружень враховано коефіцієнт бічної сили, що дорівнює 1,1.

Під час розрахунку використовувалися такі вхідні параметри: $\sigma_{-1E} = 245$ МПа; $n = 2$; $m = 8$; $N_0 = 107$; $B = 3,07 \times 10^6$ с; $f_d = 2,7$ Гц; $\psi_\sigma / K_\sigma = 0,2$.

Розрахунком на міцність визначено напруження від статичного вагового навантаження несучої конструкції вагона-цистерни. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-цистерни становили приблизно 90 МПа.

Також проведено розрахунок міцності на втому несучої конструкції вагона-цистерни.

Розрахунок включав коефіцієнт безпеки n і визначався за формулою [23]:

$$n = \frac{\sigma_{-1E}}{\sigma_{a,s}} \geq [n], \quad (3.3)$$

де $\sigma_{a,s}$ – розрахункова амплітуда динамічного напруження циклу умовної симетрії, приведена до базису N_0 ; еквівалентний за ушкоджуючою дією значенням амплітуд у реальному режимі випадкових експлуатаційних напружень протягом розрахункового терміну служби, МПа; $[n]$ – допустимий запас міцності за втомною міцністю.

Приведену еквівалентну амплітуду динамічних напружень для розрахунку на втому $\sigma_{a,s}$ у випадку розривної функції розподілу амплітуди напружень визначено в [23]:

$$\sigma_{a,s} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \sum_{i=1}^k P_{v_i} f_d \sum_{t=1}^{k_{\sigma_i}} \sigma_{\sigma_i}^m P_t}, \quad (3.4)$$

де N_c – загальна кількість циклів динамічного навантаження за проектний термін служби; p_{σ_i} та p_{v_i} – ймовірність виникнення напружень з рівнем σ_i в заданому інтервалі швидкості та ресурс автомобіля зі швидкістю v_i ; σ_{as} – рівень амплітуди напружень, МПа; k_{σ_i} та k_{v_i} – числа дискретизації амплітуд напружень та діапазону швидкостей відповідно.

Наступним кроком у цьому дослідженні є експериментальне визначення динамічного навантаження вагона-цистерни із зв'язками тертя, які реалізуються за допомогою пружних елементів несучої конструкції. Надалі планується розгляд питань динамічного навантаження цистерни в поздовжній площині, вибору відповідних з'єднань в опорах котла, особливостей розміщення.

На основі розрахунків визначено основні показники динаміки несучої конструкції вагона-цистерни з фрикційними зв'язками, реалізованими пружними елементами в опорах котла.

Результати розрахунку представлені на рис. 3.4.

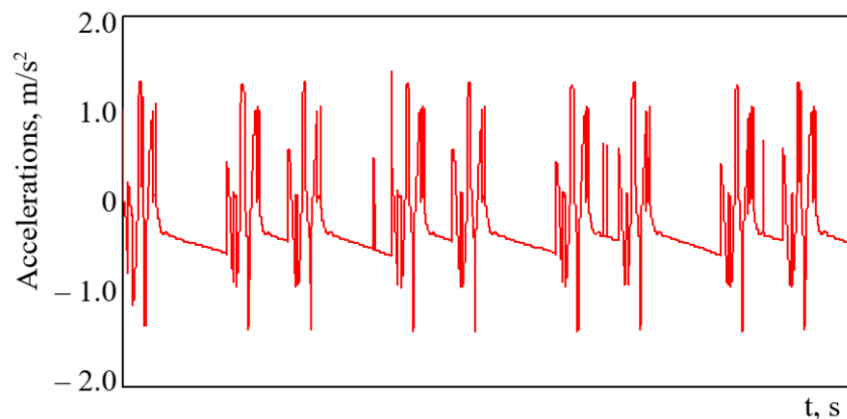


Рисунок 3.4 – Розгін несучої конструкції в центрі мас

Значення прискорення несучої конструкції вагона-цистерни під час руху в навантаженому стані становило приблизно $3,0 \text{ м/с}^2$.

Максимальне вертикальне прискорення несучої конструкції порожньої цистерни становило приблизно $1,4 \text{ м/с}^2$. На підставі цього розрахунку було зроблено висновок, що рух автомобіля можна оцінити як відмінний [22]. Таким чином, застосування фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою опор пружних елементів, дозволяє зменшити динамічне навантаження на вагон-цистерну порівняно з дослідним зразком на 35%.

Розрахунок проводився і для інших моделей головних танків. Результати розрахунку представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Прискорення зв'язків тертя вагона-цистерни, що здійснюється за допомогою пружних елементів в опорах цистерни

Модель автомобіля-цистерни	Маса несучої конструкції, тон	Прискорення, м/с^2	
		Несуча конструкція	Візки
15-1454	13.8	1.58	8.69
15-1480	15.3	1.48	8.83
15-1487	12.1	1.83	8.44
15-1514	12.5	1.77	8.48
15-1520	14.0	1.56	8.7
15-1522	16.1	1.45	8.89
15-1525	12.6	1.75	8.5

Аналіз результатів, наведених у табл. 3.1, показує, що застосування фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою пружних елементів між рамою та цистерною, у вагоні-цистерні є ефективним і знижує їх динамічне навантаження з 28% до 35%.

Далі визначено основні показники міцності несучої конструкції вагона-цистерни з фрикційними зв'язками, реалізованими пружними елементами.

Результати розрахунку на міцність представлені на рис. 3.5, 3.6 та 3.7.

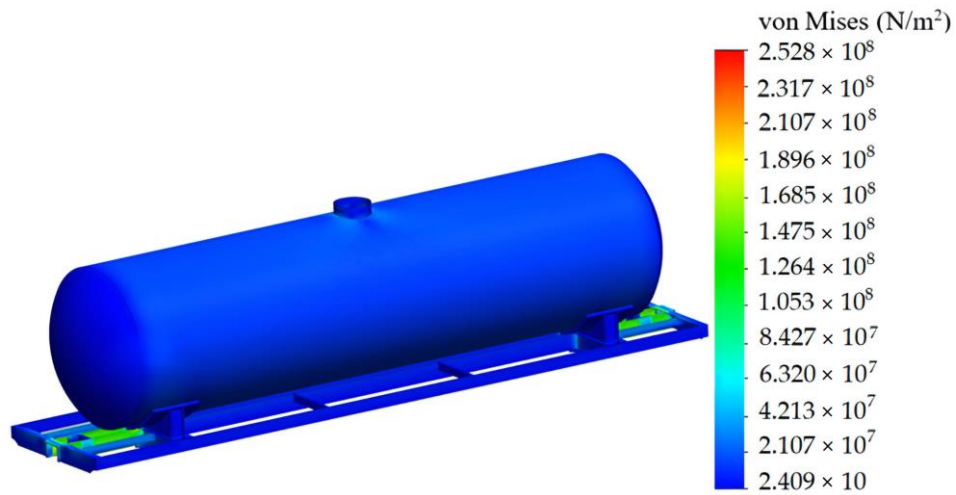


Рисунок 3.5 – Напружений стан несучої конструкції вагона-цистерни в режимі розрахунку (ривок).

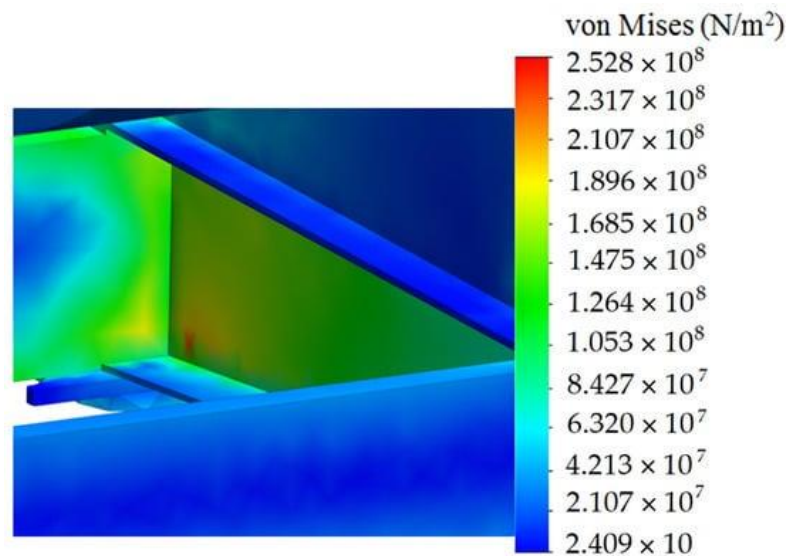


Рисунок 3.6 – Зона концентрації найбільших напружень в несучій конструкції вагона-цистерни.

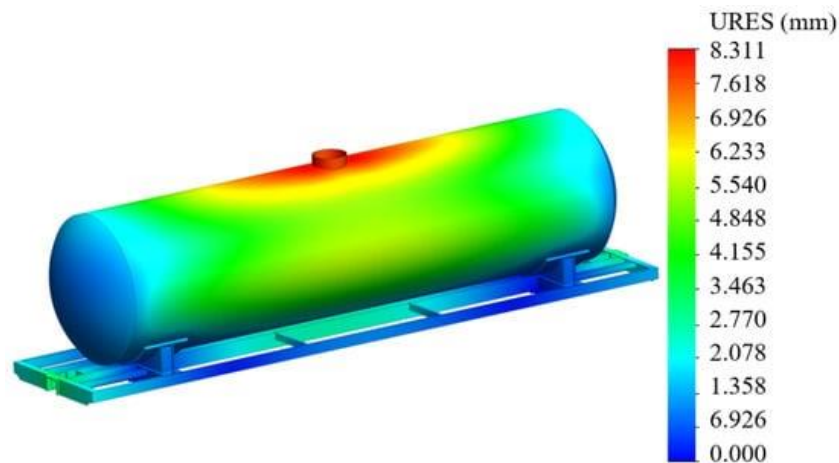


Рисунок 3.7 – Переміщення у вузлах несучої конструкції вагона-цистерни в режимі розрахунку (ривок).

Встановлено, що максимальні еквівалентні напруги виникали в зоні контакту між центральним порогом і балкою кузова; вони становили приблизно 252,8 МПа і не перевищували допустимих значень [23], [24]. Максимальні зміщення становили приблизно 8,3 мм.

Визначено числові значення прискорень та поля їх розподілу відносно несучої конструкції вагона-цистерни. Результати розрахунків наведені на рис. 3.8.

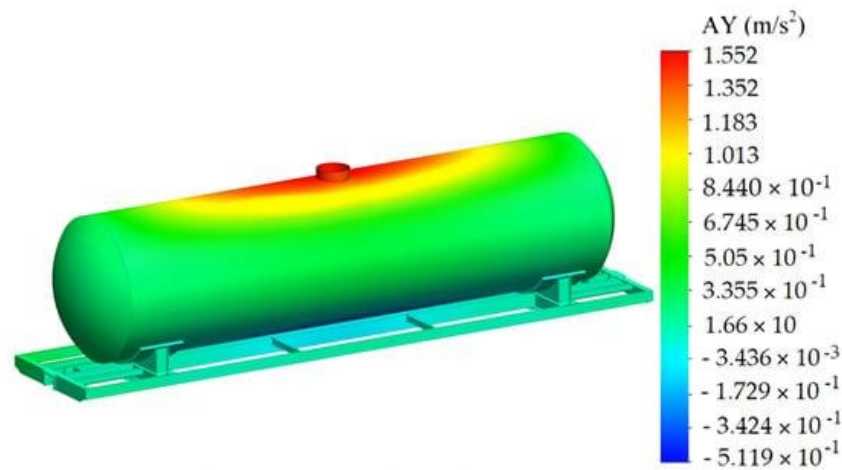


Рисунок 3.8 – Розподіл полів прискорення відносно несучої конструкції вагона-цистерни.

Максимальні значення прискорення були зафіксовані у верхній частині котла і становили $1,52 \text{ м/с}^2$. Проведені дослідження показали, що розбіжність між результатами аналітичного та чисельного моделювання становить 7,9%, тобто має добру збіжність.

Проектний ресурс несучої конструкції вагона-цистерни був на 20% вищий, ніж у дослідного зразка.

Варто відмітити, що отримане значення ресурсу необхідно коригувати шляхом додаткових досліджень поздовжнього навантаження на несучу конструкцію вагона-цистерни та шляхом експериментальних (натурних і стендових) випробувань.

Розрахунок коефіцієнта міцності на втомну міцність показав, що при ймовірності виникнення напружень з рівнем σ_i , що дорівнює 0,95, $\sigma_{a,s} = 59,7$ МПа, його числове значення становить 4,1. У зв'язку з відсутністю експериментальних даних допустимий запас міцності за втомною міцністю

прийнято рівним 2,2. Таким чином, була виконана умова (3.4) і забезпечена втомна міцність несучої конструкції вагона-цистерни.

Слід зазначити, що ці рішення виявилися ефективними для вагонів-цистерн з композитними баками. Зменшується маса тари автомобіля і виконуються вимоги до міцності.

3.2 Дослідження та аналіз стійкості автоцистерни автомобіля-муковоза

Під час руху борошновоза порушення стійкості можливе в повздовжньому і поперечному напрямках, а також на поворотах. Характерними випадками втрати стійкості автоцистерни є поперечне перекидання або ковзання коліс автомобіля. Випадки подовжнього перекидання зустрічаються дуже рідко і тому не розглядаються.

Кут стійкості (рис. 3.1) визначається по формулі:

$$\operatorname{tga} = \frac{B}{2H_{\text{цм}}}, \quad (3.5)$$

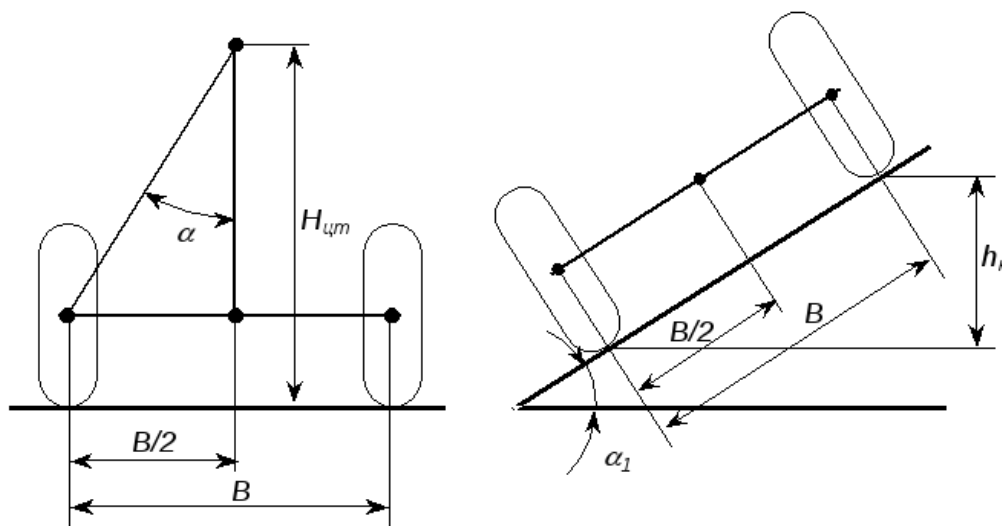


Рисунок 3.9 – Схема для визначення кута стійкості цистерни муковоза.

Небезпека перекидання можлива у тому випадку, коли кут нахилу коліс α_1 стає рівним або більше кута стійкості α . При $\alpha > \alpha_1$ стійкість повністю забезпечується.

Кут нахилу α_1 визначається за виразом:

$$\sin \alpha_1 = \frac{h_k}{B}. \quad (3.6)$$

По існуючих нормативах вантажний автомобіль не повинен втрачати бічної стійкості, якщо він рухається з таким кутом, при якому висота лінії підйому однієї сторони коліс відносно лінії руху інший h_k задовільнятиме умову $h_k \leq 0,7$ м.

При повороті на горизонтальній ділянці виникає перевертаючий момент $M_{опр}$.

Для забезпечення стійкості автоцистерни муковоза при повороті необхідно, щоб утримуючий момент $M_{y\partial}$ був більше $M_{опр}$, які визначаються по рівняннях:

$$M_{y\partial} = \frac{B}{2}(G_0 + G_m + G_{np})g, \quad (3.7)$$

$$M_{опр} = \frac{H_{цм} \cdot v^2}{R}(G_0 + G_m + G_{np}), \quad (3.8)$$

де G_0 – маса автомобіля без вантажу; G_m – маса технологічного устаткування; G_{np} – маса продукту, що перевозиться.

Запас стійкості:

$$n = \frac{M_{y\partial}}{M_{опр}} \geq 3...4. \quad (3.9)$$

Небезпека перекидання виникає при $M_{опр} \geq M_{y\partial}$.

В цьому випадку небезпечна швидкість визначатиметься з рівності:

$$v = \sqrt{\frac{B \cdot g \cdot R}{2H_{цм}}}, \quad (3.10)$$

де R – максимальний радіус повороту муковоза, який визначається по зовнішньому (відносно центру тяжіння) передньому колесу тягача по формулі

$$R = \frac{l_a}{\sin \alpha_k}, \quad (3.11)$$

де α_k – максимальний кут повороту передніх коліс.

На рис. 3.10 – 3.13 представлені результати моделювання процесу руху муковоза з цистерною. Визначено зміну критичної швидкості перевертання залежно від різних конструктивних параметрів транспортного засобу.

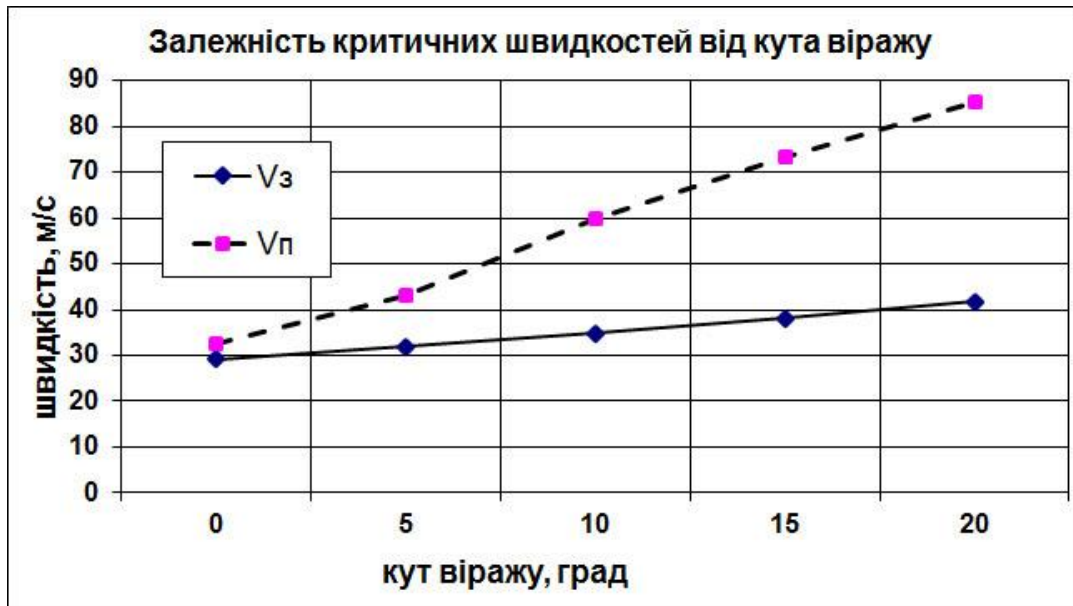


Рисунок 3.10 – Залежність критичних швидкостей руху від кута віражу

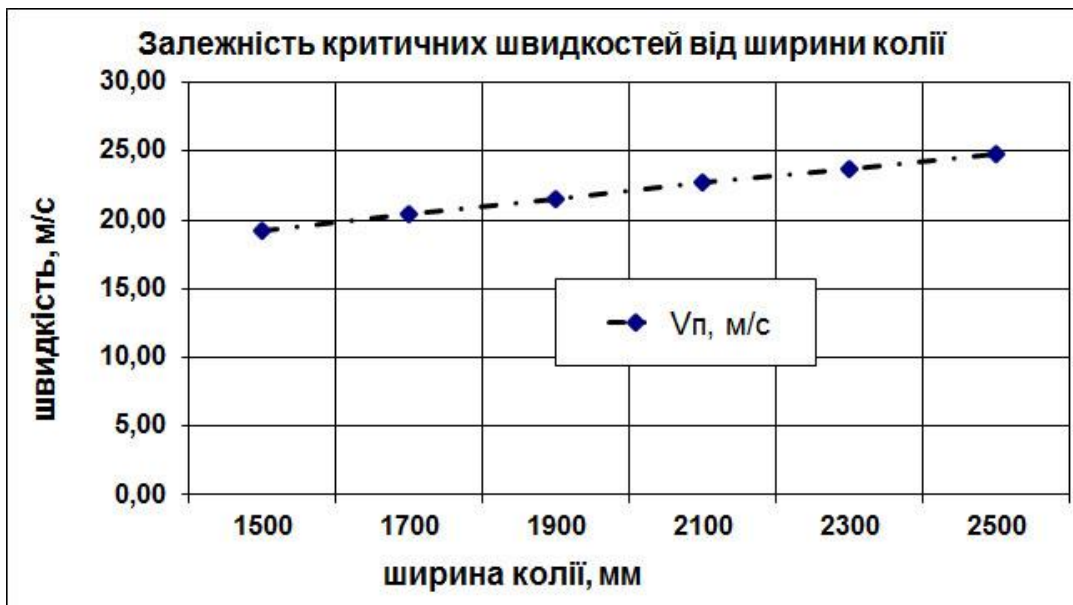


Рисунок 3.11 – Залежність критичної швидкості по перевертанню від ширини колії муко воза.

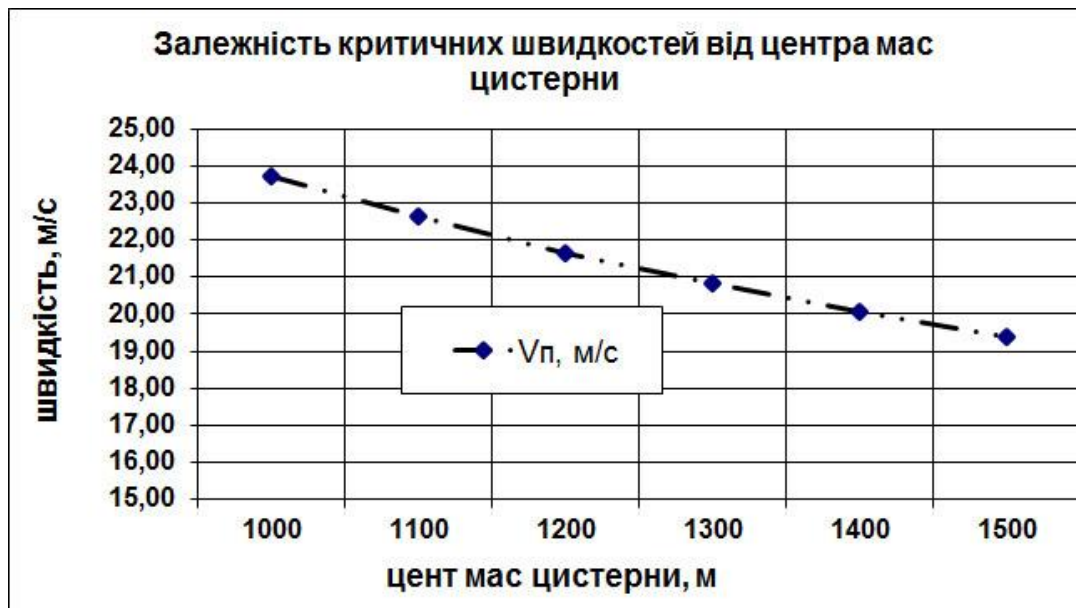


Рисунок 3.12 – Залежність критичної швидкості по перевертанню від положення центра мас цистерни муковоза

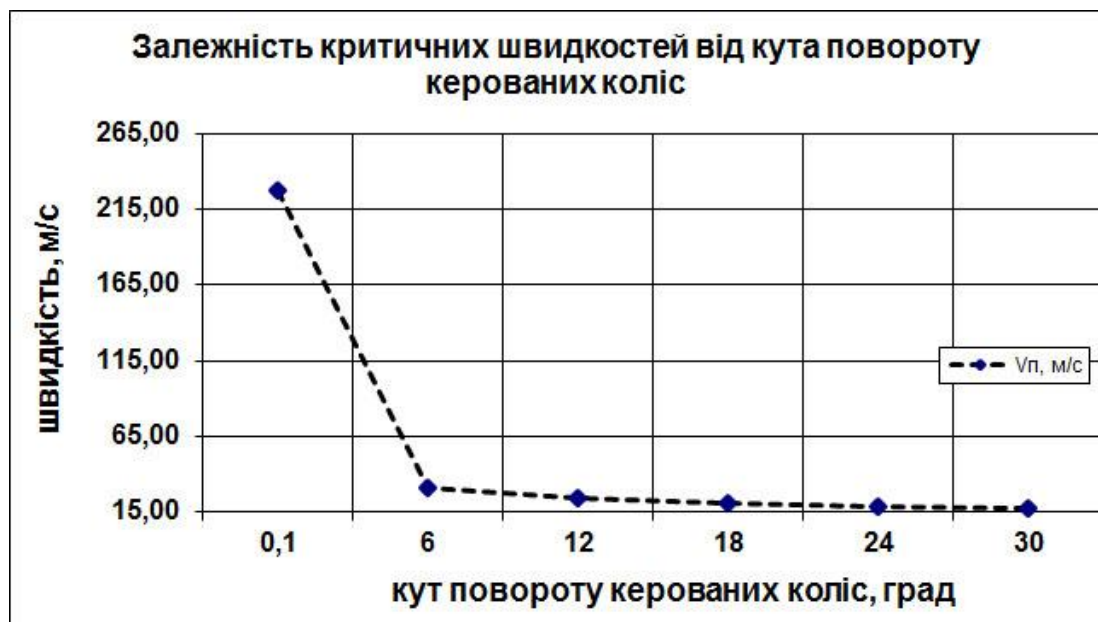


Рисунок 3.13 – Залежність критичної швидкості по перевертанню від кута повороту керованих коліс тягача муковоза

3.3 Висновок до розділу

Наведено результати визначення вертикального навантаження несучої конструкції вагона-цистерни. Особливістю вагона-цистерни є наявність фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою пружних елементів в опорах котла на рамі, що сприяє зниженню навантаження на несучу конструкцію і підвищенню втомної міцності. Для обґрунтування запропонованого рішення

було проведено визначення вертикального навантаження несучої конструкції вагона-цистерни при русі в порожньому стані по нерівності. Встановлено, що використання фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою підшипників, дозволяє знизити динамічне навантаження вагона-цистерни майже на 35% порівняно з прототипом. Для визначення полів розподілу прискорень, що діють на несучу конструкцію цистерни, а також їх числових значень було проведено комп'ютерне моделювання динамічного навантаження її несучої конструкції. Розрахунок проводився методом скінченних елементів за критерієм Мізеса. При проведенні розрахунків між котлом та його опорами були встановлені пружні зв'язки за допомогою опцій програмного комплексу. Для врахування складової тертя враховувалася сила тертя, яка прикладалася в зонах взаємодії котла з опорами. Проведені дослідження показали, що розбіжність між результатами аналітичного та чисельного моделювання становить 7,9%. Встановлено, що проектний ресурс удосконаленої несучої конструкції вагона-цистерни більш ніж на 20% перевищує ресурс досвідченого зразка автомобіля. Коефіцієнт міцності за втомною міцністю склав 4,1. Проведені дослідження можуть бути використані тими, хто турбується про зменшення руйнувань несучих конструкцій вагонів-цистерн в режимах експлуатаційного завантаження, зниження витрат на технічне обслуговування та розробку рекомендацій щодо проектування інноваційних конструкцій вагонів.

Проведено дослідження та аналіз стійкості автоцистерни автомобіля-муковоза. Отримані залежності критичних швидкостей руху від: кута віражу; по перевертанню від ширини колії муко ввоза; по перевертанню від положення центра мас цистерни муко ввоза та по перевертанню від кута повороту керованих коліс тягача муко ввоза.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори, які виникають під час експлуатації муковоза

У процесі роботи на працівника можуть впливати такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі машини, механізми, їх рухомі частини, вантажі, що перевозяться;
- обертові елементи рухової установки та трансмісії;
- підвищена загазованість та запиленість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищені рівні шуму та вібрації на робочому місці водія;
- підвищена чи знижена вологість повітря у робочій зоні;
- пряма та відбита блискітність, недостатня освітленість;
- токсичні дії етилованого бензину, парів електроліту;
- опіковий вплив електроліту акумуляторної батареї, кислот та лугів при приготуванні та роботі з електролітом;
- висока напруга в ланцюзі запалювання карбюраторних двигунів та систем приводу електричних транспортних засобів;
- висока температура рідини в системі охолодження двигуна;
- підвищений тиск у шинах коліс у поєднанні з несправністю замкового пристрою обода колеса;
- пожежонебезпека внаслідок несправності у системі живлення двигуна;
- вплив борошняного пилу;
- фізичні та нервово-психічні навантаження;
- підвищена рухливість повітря;
- пошкодження при ДТП, вибуху та/або пожежі;
- недостатня освітленість робочого місця.

Рівні концентрації та інші параметри небезпечних та шкідливих виробничих факторів та трудового процесу, що виникають при роботі, не повинні перевищувати допустимих значень, передбачених у державних стандартах та санітарно-гігієнічних нормах.

4.2 Пожежна безпека

Працівник повинен виконувати такі вимоги пожежної безпеки:

Знати сигнали пожежної тривоги та способи повідомлення про пожежу.

Курити тільки у відведених та пристосованих для цього місцях.

Знати та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння.

Забороняється:

- зберігати вибухонебезпечні речовини, легкозаймисті та горючі рідини;

- застосовувати гаси, примуси, спиртові пальники, газові прилади; з акуратністю використовувати утюги, електричні чайники, плитки та інші електропобутові прилади, дотримуючись правил протипожежної безпеки.

Навантаження та розвантаження муковоза має проводитися шляхом плавного опускання (підйому) панелей без ривків та поштовхів.

Вантажно-розвантажувальні роботи в охоронних зонах повітряних ліній електропередач допускається виконувати лише після проведення цільового інструктажу та оформлення наряду-допуску, що видається організацією, відповідальної виконання робіт.

При здійсненні механізованого розвантаження муки на приймальних пунктах (або інших місцях) перекидачами, бортоукладачами водій зобов'язаний зупинити муковоз, загальмувати його, включити нижчу передачу, вийти з кабіни та перебувати в безпечній зоні в межах видимості оператора.

Технічні неполадки. Основна причина займання є витік палива. Навіть кілька крапель бензину, що потрапили на гарячий блок циліндрів або на компоненти системи охолодження, можуть стати причиною появи полум'я. Для загорання автомобіля буде потрібно лише кілька хвилин тому від водія

буде потрібно блискавична реакція. Перед початком руху необхідно переконатися, що в автомобілі відсутній запах бензину. При його наявності слід відкрити капот, не заглушуючи двигуна — це дозволить побачити неозброєним оком струмінь палива і запобігти загоряння.

Ще одна причина - коротке замикання електропроводки, яке викликає загоряння автомобіля. Пошкодження ізоляції веде до виникнення пробіїв електричного заряду, які супроводжуються нагріванням дротів. Якщо ж проблему не усунути досить швидко, в місці надриву утворюється отвір, що і стає причиною замикання.

Ремонт електричних проводів автомобіля. Завжди стежте за станом електричних проводів автомобіля. Сама батарея також нерідко стає причиною загоряння, оскільки в більшості автомобілів вона легко пошкоджується. Щоб викликати займання, досить облили акумулятор великою кількістю рідини, наприклад, води в глибокій броді або охолоджуючої рідини, що вилілась з пошкодженого патрубка. У гібридних транспортних засобах і електромобілях акумулятор намагаються розмістити близько до днища, щоб поліпшити маневреність автомобіля. При наїзді на великий предмет або попаданні під колеса сміття з гострими гранями батарея нерідко пошкоджується, що призводить до миттєвого займання автомобіля.

Якщо автомобіль оснащений газовим обладнанням, небезпека виникнення пожежі істотно зростає. Причиною загоряння зазвичай стає пошкодження трубки, що веде від бака до редуктора або форсунок. Також небезпека загрожує автомобілю при розриві силіконових трубок, мембрани випарника або при надмірному зносі фільтра. Не слід забувати і про поганий налаштування газового обладнання — за невдалої установки параметрів подачі палива пропорції суміші можуть бути не дотримані, що призведе до перегріву двигуна і вихлопної системи.

Перегріватися може не тільки двигун, але і вихлопна система. Навіть у нормальному стані вона нерідко стає причиною загоряння розлитого масла або бензину — температура випускного колектора досягає 600 градусів. При неповному згорянні суміші частина парів бензину може потрапляти у

вихлопну трубу, де відбувається її повторна детонація, що супроводжується перегрівом каталітичного нейтралізатора. Температура піднімається до 900-1200 градусів, що може призвести до займання лакофарбового покриття або предметів облицювання автомобіля. Щоб уникнути випадків перегріву, потрібно уважно стежити за обертами двигуна, а також стежити за технічним станом:

- Свічок запалювання;
- Електронного блоку управління;
- Впускного і випускного колектора;
- Форсунок;
- Розподільника запалювання і катушок.

Зростає частка такої причини загоряння автомобіля, як зміна конструкції електричного ланцюга. Установка додаткового обладнання великої потужності підвищує навантаження на провoda, які починають перегріватися. Якщо ж механік вирішить прокласти електричні провoda поза передбаченого виробником місця, його причиною загоряння може стати нагрівання від двигуна, вихлопної або охолоджуючої системи. Застосування неякісних провідів призводить до короткого замикання, докладно описаному вище. Тому установку або ремонт будь-якого електричного обладнання слід доручати тільки справжньому професіоналу — згодом це дозволить уникнути займання.

Вогнегасника для вантажного автомобіля загального, спеціалізованого та спеціального призначення залежить від повної маси транспортного засобу:

- не більше ніж 3,5 т — порошковий вогнегасник із зарядом вогнегасної речовини не менше ніж 3 кг (ВП-3);
- 3,5—12 т — порошковий вогнегасник із зарядом вогнегасної речовини не менше ніж 5 кг (ВП-5);
- понад 12 т — порошковий вогнегасник із зарядом вогнегасної речовини не менше ніж 9 кг (ВП-9)

4.3 Вимоги безпеки при навантаженні та розвантаженні муко воза

Під час навантаження і розвантаження необхідно правильно розподіляти вантаж на транспортних засобах.

У процесі роботи з навантаження-розвантаження продуктів працівник повинен керуватися правилами експлуатації обладнання, що використовується на даному виді робіт, застосовувати безпечні способи і прийоми виконання робіт, виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов навчання, інструктаж з охорони праці і до якої допущений.

Всі вантажно-розвантажувальні роботи необхідно проводити в рукавицях, спецодязі і взутті, в світлий час доби.

При перенесенні вантажів працівник повинен вибирати вільний, рівний і найбільш короткий шлях.

Щоб уникнути нещасного випадку (притискання ноги або руки до підлоги) важкі предмети слід встановлювати на спеціальні підкладки. У разі виникнення екстрених ситуацій або неможливості виконання роботи з яких-небудь причин, повідомити про них свого безпосереднього керівника.

Навантажувати та розвантажувати вантажі необхідно відповідно до вимог ГОСТ 12.3.009-76 під керівництвом відповідальної особи. Працівники, які постійно зайняті на вантажно-розвантажувальних роботах, забезпечуються необхідними та проходять обов'язкові медичні огляди.

При розвантаженні цистерн для перевезення борошна застосовується вдосконалений аераційно пневматичний спосіб. Цистерна для перевезення борошна має вантажопідйомність 7 т, місткість 12,8 м³, час для вантаження 25... 30 хвил, а час розвантаження 25 35 хвил. Дальність подання борошна при розвантаженні — до 30 м, а висота подання — до 15 м.

Особливістю конструкції є те, що компресор розташований на напівпричепі. Це дозволяє значно скоротити простої автомобіля тягача при розвантаженні напівпричепа і використовувати його з двома або трьома напівпричепами. Використання власної ваги вантажу в поєднанні з розвантаженням борошна стиснутим повітрям забезпечує значне скорочення

часу розвантаження. Для покращення текучості зерна днище виготовлено з чохлом в сторону патрубку не менше 30°.

4.4 Обґрунтування травмонебезпечних ситуацій під час виконання транспортних операцій

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події [17].

Аналіз процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час виконання операції оранки представлено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз процесу формування та виникнення травмонебезпечних ситуацій під час виконання транспортних операцій

Вид робіт, технологіч на операція, склад агрегату	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	небезпечна умова (НУ)	небезпечна дія (НД)	небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Транспортна робота Автопоїзд-борошновоз К-1040Э	1.1. Несправні гальма НУ	Перевищення швидкості руху автомобіля РД1 Різкий поворот НД2	Виїзд автомобіля з дороги, перекидання НС	Аварія Травма	Організувати постійний контроль за транспортом перед його виходом у рейс Не допускати до роботи автомобілі із несправними гальмами
Модель процесу: $ \begin{array}{ccccccc} & & & & \text{НД}_1 & & \\ & & & & \downarrow & & \\ \text{НУ} & \longrightarrow & \text{НС} & \longrightarrow & \text{А} & \longrightarrow & \text{Т} \\ & & \uparrow & & & & \\ & & \text{НД}_2 & & & & \end{array} $					
1	2	3	4	5	6

	1.2. Граничне спрацювання НУ ₁ На узбіччі дороги біля повороту глибокий кювет, заглиблення НУ ₂ Слизька дорога НУ ₃	Водій не знизив швидкість перед поворотом НД ₁ і різко повернув НД ₂	Занос автомобіля в кювет НС ₁ Сповзання його у кювет НС ₂ Перекидання автомобіля НС ₃	Аварія Травма	Не допускати до роботи автомобілі у яких граничне спрацювання протекторів шин перевищує граничне значення Ями біля поворотів мають бути засипані, а дорога повинна мати бурдюри
<p>Модель процесу:</p> <pre> НУ₂ ↓ НУ₁ → НС₁ → НС₂ → НС₃ → А → Т ↑ НД₁ НУ₃ </pre>					
	1.3. На автомобілі, що вийшов у рейс, несправні показчики поворотів НУ ₁ Вантаж на платформі закриває водію дорогу позаду автомобіля НУ ₂ На дорозі ями, розкидане каміння НУ ₃	Об'їжджаючи дорожні перешкоди, водій різко повернув на зустрічну смугу руху НД	Транспорт, що рухався за автомобілем зіткнувся (наїхав) на нього НС	Аварія	Не допускається робота транспортних засобів без справної світлової сигналізації поворотів і "стопів"
<p>Модель процесу:</p> <pre> НУ₃ → НД ↓ НУ₁ → НС ← НУ₂ → А </pre>					

Якщо дослідження логічних зв'язків провести у зворотному напрямку, то обов'язково можна знайти ту подію (явище), що є причиною (однією з причин) формування досліджуваного процесу.

Метод логічного моделювання травмонебезпечних, аварійних та інших ситуацій значно полегшує пошук причин аварій, виробничих травм і дорожньо-транспортних пригод при їх розслідуванні [15], [17].

Вивчені, побудовані і систематизовані логічні моделі для окремих виробничих процесів, обладнання та інших об'єктів можна програмувати, а складений з них банк даних, може бути використаний для прогнозування виникнення аварій, травм, катастроф та інших небажаних явищ за допомогою ЕОМ.

Логічні моделі можна застосовувати при прийнятті рішень про відповідальність осіб, винних у виникненні таких пригод, а також ступінь вини самого потерпілого.

У логічній моделі після кожного описання небезпечних умов (НУ), небезпечних дій (НД), небезпечних ситуацій (НС) та можливих наслідків наводиться і логічна модель процесу можливого виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків.

Висновок до розділу

Проведені вдосконалення технічного оснащення муковозів дозволить збільшити його продуктивність використання безпеки експлуатації. Це дозволить покращити охорону праці на даному виді транспорту, це одна із потреб сьогодення.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Оцінка економічної ефективності впровадження у виробництво удосконаленої конструкції автомобіля-муковоза

У кваліфікаційній роботі проведено огляд автомобілів-муковозів. Були визначені параметри і характеристики навантажувального пристрою для борошна, що встановлений на напівпричепі разом з цистерною. Проведено аналіз шляхів вдосконалення конструкції автомобіля-муковоза. Оцінка ефективності проводиться у два етапи: перший - це аналіз техніко-економічного рівня напівпричепа для перевезення сипучих вантажів для харчової промисловості; другий – визначення економічної ефективності інвестування в проектування компонування напівпричепа для перевезення сипучих вантажів для харчової промисловості.

Аналіз виконуємо в наступній послідовності:

1. Вибір бази порівняння.
2. Проведення порівняльного аналізу.
3. Економічний аналіз конкурентноздатності нової моделі .
4. Висновки про техніко-економічний рівень і конкурентноздатність напівпричепа для перевезення сипучих вантажів для харчової промисловості

За базу порівняння вибираємо модель напівпричепа аналогічного за призначенням і основними параметрами.

При проведенні порівняльного аналізу можна виділити два аспекти. Перший – це оцінка відповідності або невідповідності окремих параметрів світовому рівню і оцінка виробу в цілому шляхом узагальнення всіх груп параметрів. Для його здійснення необхідно всі параметри подати у вигляді безрозмірних величин і врахувати значимість кожного параметру в загальній комплексній оцінці рівня виробів.

Приведення оцінюваних параметрів до безрозмірних величин здійснюється збільшенням їх числового значення, використовується формула:

$$b_y = a_y / a_{y(\max)} \quad (5.1)$$

де b_y – безрозмірна величина, яка характеризує рівень i -го параметру по j -му порівняльному об'єкту; a_y – абсолютне значення i -го параметру в порівняльних об'єктах в реальному масштабі; $a_{y(\max)}$ – максимальне значення i -го параметру в порівняльних об'єктах в даному масштабі; $i - 1, 2, \dots, n$ – кількість параметрів, які аналізують; $j - 1, 2, \dots, m$ – кількість об'єктів, які аналізують.

Показники, для яких бажано зменшення їх числового значення, розрахунки здійснюють наступним чином:

$$b_y = b_{y(\min)} / a_y \quad (5.2)$$

де $b_{y(\min)}$ – найкраще (найменше) значення i -го параметру; j -го об'єкту в загальному масштабі в реалізованій сукупності.

Значимість кожного окремого параметру для узагальненої комплексної оцінки рівня виробів враховується за допомогою вагових коефіцієнтів, які визначаються експертним шляхом.

Техніко-економічний рівень виробу визначається згідно формули:

$$K = b_y P_y \quad (5.3)$$

де b_y – безрозмірні коефіцієнти кількісних значень показників; P_y – коефіцієнти вагомості параметрів.

Технічна характеристика виробу і визначення коефіцієнту еквівалентності наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика виробу і визначення коефіцієнту еквівалентності.

№ з/п	Найменування показників	Одиниці вимірювань	Значення Показників		Відносний показник оцінюваного зразка	Коефіцієнт вагомості	Відносний показник з врахуванням вагомості
			Проектного виробу	Базової моделі			
1.	Показники надійності						
1.1	Ресурс до капітального ремонту	год	4800	4000	1,2	0,3	0,36
1.2	Напрацювання на відмову	тис. км	81	75	1,16	0,2	0.232
2.	Експлуатаційні показники						
2.1	Питома матеріаломісткість кг/кг		0.0017	0.002	1,125	0,01	0,116
3.	Показники технологічності						
3.1.	Питома оперативна трудомісткість ТО		0,02	0,023	1,15	0,2	0,23
4.	Показники безпеки						
4.1	Рівень зовнішнього шуму	АБА		81	1,025	0,1	0,103
	Всього					1,0	1,12

На основі комплектної оцінки за шістьма групами показників техніко-економічного рівня нового і базового виробів коефіцієнт еквівалентності складає 1,12, що показує відмінність в техніко-економічному рівні нового виробу складає 12% в сторону покращення.

Виготовлення нової конструкції напівпричепа проводиться на існуючих виробничих фондах з новим використанням обладнання, інструменту, будівель. Нові капіталовкладення становлять капітальні витрати на здійснення заходів на впровадження нової техніки, які складають 150000 грн.

Собівартість нової конструкції визначаємо за формулою:

$$C = M_o + П + Г + 3_{пр} + 3_{cc} + 3_M + 3_z + P H_{ак}, \quad (5 \quad .3)$$

де M_0 – вартість матеріалів, грн; Π – вартість напівфабрикатів, грн; Γ – вартість готових виробів, грн; $Z_{\text{пр}}$, $Z_{\text{сбв}}$, – заробітна плата основних робітників, відрахування в фонд єдиного соціального внеску.

Сума витрат на основні матеріали напівфабрикати і комплектуючі вироби визначаємо за формулою:

$$M = 0,01(M_0 + \Gamma)(100 + dt) - \text{сб}, \quad (5.4)$$

де M_0 – вартість всіх видів основних матеріалів на виготовлення виробу, визначається, як сума норми витрат, відповідно виду матеріалів N на його оптову ціну Ц_M ; M_0 – вартість всіх видів основних матеріалів на виготовлення виробу, визначається як сума норми витрат, відповідно виду матеріалів N на його оптову ціну Ц_M ; Γ – сума витрат на покупні деталі, вузли, які необхідні для комплектації нової конструкції, грн. dt – транспортно-заготівельні витрати в % витрат на матеріали і комплектуючі; сб – відходи виробництва, які можна реалізувати.

1. Сировина і матеріали 79038,3грн.

2. Основні комплектуючі 78792,18грн.

Сумарна вартість матеріальних витрат буде складати – 157830,48грн.

За даними досліджень трудомісткість кузова напівпричепа $T_{\text{шт}} = 112$ нормо/годин. Враховуючи інші види робіт в загальній трудоємності $T_{\text{тр}} = 117,64$ нормо/годин. Сума основної заробітної плати на виготовлення напівпричепа визначаємо добутком

$$Z_{02} = Z_{\text{год}} t_2, \quad (5.5)$$

де $Z_{\text{год}}$ – середнього динна заробітна плата на виготовлення аналога, грн.; t – сумарна трудоємність проектного виробу, грн.;

$$Z_{\text{год}} = Z_{02} / t_2, \quad (5.6)$$

де Z_{01} – сумарна основна заробітна плата на виготовлення аналога, грн.; t – сумарна трудоємність виготовлення $t_1 = 14,73$ Н/год.,

За формулою 5.6 визначаємо:

$$Z_{\text{год}} = 225 / 14.73 = 15.27 \text{ грн.},$$

За формулою 5.5 визначаємо:

$$Z_{02} = 15,27 \times 117,64 = 1796,36 \text{ грн.}$$

Сума додаткової заробітної плати Z_q начислень на заробітну плату визначається:

$$Z_q = Z_{02} \cdot dq / 100 \quad (5.7)$$

$$ZH = (Z_o \cdot Z_q) dH / 100, \quad (5.8)$$

де dq – процент додаткової заробітної плати до основної на підприємстві виробнику; dH – процент нарахувань на зарплату до суми основної і додаткової заробітної плати на підприємстві

Таблиця 5.2 – Калькуляція собівартості напівпричепа

	Статті витрат	Сума, грн	Примітка
1.	Сировина, основні матеріали	79038,3	
2.	Куповані комплектуючі вироби.напівфабрикати та послуги кооперуючих підприємств	78792,18	
3.	Платежі по обов'язковому страхуванню товарно матеріальних цінностей	23674,57	0,15 від П.(1+2)
4.	Всього прямих матеріальних витрат	181505,05	
5.	Основна заробітна плата виробничих робітників	1796,36	
6.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	269,45	15% від П.5
7.	Відрахування в фонд єдиного соціального внеску	692,05	22 від П.(5+6)
8.	Відшкодування зносу інструменту та пристроїв цільового призначення	44,4	15% від П.6
9.	Витрати на підготовку і освоєння виробництва	51,1	19% від П.6
10.	Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	538,8	30% від П.5
11.	Цехові витрати	1436,8	80% від П.5
12.	Загальнозаводські витрати	772,3	43% від П.5
13.	Інші виробничі витрати	67,35	25 від П.5
14.	Виробнича собівартість	187173,66	П.(1...14)
15.	Позавиробничі витрати	9358,7	5 від П.15
16.	Інші відрахування	9358,7	5% від П. 15
17.	Повна собівартість	205890,66	П.(15+20)
18.	Норма рентабельності	51472,66	25 від П.20
19.	Ціна виробу	257363,33	-

Прибуток визначається від реалізованого виробу:

$$P_p = (C_v - S) N_p, \quad (5.9)$$

де C_v – оптова ціна виробу; S – повна собівартість одиниці продукції; N_p – обсяг реалізованої продукції.

$$P_p = (257363,33 - 205890,66) \cdot 57 = 2865150 \text{ грн.}$$

Рентабельність виробу:

$$R = (\Pi_B - S) / (S - S_m), \quad (5.10)$$

де Π_B – оптова ціна виробу; S – повна собівартість одиниці продукції; S_m – сума прямих матеріальних витрат зв'язаних з виробництвом одиниці продукції.

$$R = (257363,33 - 205890,66) / (205890,66 - 181505,05) \cdot 100\% = 21,3\%$$

Виробництво напівпричепа рентабельно.

Ефект визначається, як різниця ($\Pi_t - K_t$) на протязі періоду часу ($T+1$) змінює своє значення з від'ємного на додатне, коли прибуток певний рік K_t за цей проміжок часу перевищує витрати.

Умовою ефективності інвестованих K_e , є компенсація від'ємного економічного ефекту додатнім за період окупності K_t .

При цьому необхідно врахувати, що економічний ефект дисконтується (змінюється в часі на величину ставки складного банківського %, який могли б принести інвестовані K_t у випад знаходження їх на депозиті в банку, а не інвестування в організаційно- технічний проект .

Термін окупності визначається з умови:

$$T = K_t \cdot A_t / \Pi_t, \quad (5.11)$$

де T – термін окупності, роки; t – індекс поточного року, для якого ведуться розрахунки; Π_t – прибуток отриманий від впровадження проекту в t рік, грн; K_t – капіталовкладення, яких вимагає впровадження та обслуговування проекту, грн.; A_t – коефіцієнт дисконтування ефекту за t рік; E_k – норма дисконтування K_t в десяткових долях від цілого.

Норма дисконтування $E_k = 10\%$.

Прибутки та K_t за наступні після першого року визначаються за формулами:

$$\Pi_t = \Pi_i \cdot K_t,$$

$$K_t = K_t \cdot K_{kt},$$

де Π_i – прибуток від проекту за перший рік впровадження; K_t і K_{kt} – поправочні коефіцієнти, викликані зміною прибутку, капіталовкладень в часі.

Дані коефіцієнти для наступних за першим роком ($t - 2$) визначаються:

$$K_{nt} = 2,6 \cdot e + 0,4,$$

$$K_{kt} = 7,407(t-0,394)/(1 + 11.519 \cdot (t \cdot 0.394)^2) + 0.123 ,$$

де $e = 2,718$; t - індекс року для якого ведуться розрахунки.

Таблиця 5.3 – Розрахунки техніко-економічної ефективності.

	Показник	Один, виміру	Позначення	роки		
				1	2	3
1.	За перший рік	Грн.		2850150		
2	Коефіцієнт поправки	Knt	Knt	1	2.2	3
3	Прибуток за наступні роки	п	Пт=П1. Knt	-	6303300	8595450
4.	За перший рік	Грн.	Kп	150000		
5	Коефіцієнт поправки	Коеф	Kkt	1	0,51	0,366
6	За наступні роки капітальні вкладення	грн.	Kt	1350150	538300	8145450
7	Норма дисконту	доп. десяті	Ек	0,909	0,861	0,751
8	Недисконтований економічний ефект	грн. од		1227290	4574636	6117233
9	Кумулята дисконтованого економічного ефекту	Грн. од		1227290	2502986	1994218
10	Коефіцієнт дисконту	Коеф.	At	1	0,547	0,326
11	Знак кумуляти дисконт. ефекту			+	+	+

Висновок до розділу

За результатами оцінки економічної ефективності впровадження у виробництво удосконаленої конструкції автомобіля-муковоза встановлено, що технічний рівень виробу на 11% вище ніж у попередніх моделях, термін окупності складає приблизно 1 рік.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено огляд автомобілів-муковозів. Визначені параметри і характеристики навантажувального пристрою для муки, що встановлені на цистерні. Проведено аналіз шляхів удосконалення конструкції автомобіля-муковоза. Розглянуто борошновози, які потрібні для перевезення борошна та інших сипучих продуктів.

Реалізацію завантаження і розвантаження сировини за допомогою автономних компресорів. Також розглянули групи борошновозів, а саме цистерни, причіп, напівпричіп їхні ємності і матеріали з яких виготовляють бункери для транспортування та їхні переваги.

Наведено результати визначення вертикального навантаження несучої конструкції вагона-цистерни. Особливістю вагона-цистерни є наявність фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою пружних елементів в опорах котла на рамі, що сприяє зниженню навантаження на несучу конструкцію і підвищенню втомної міцності. Для обґрунтування запропонованого рішення було проведено визначення вертикального навантаження несучої конструкції вагона-цистерни при русі в порожньому стані по нерівності. Встановлено, що використання фрикційних зв'язків, реалізованих за допомогою підшипників, дозволяє знизити динамічне навантаження вагона-цистерни майже на 35% порівняно з прототипом. Для визначення полів розподілу прискорень, що діють на несучу конструкцію цистерни, а також їх числових значень було проведено комп'ютерне моделювання динамічного навантаження її несучої конструкції. Розрахунок проводився методом скінченних елементів за критерієм Мізеса. При проведенні розрахунків між котлом та його опорами були встановлені пружні зв'язки за допомогою опцій програмного комплексу. Для врахування складової тертя враховувалася сила тертя, яка прикладалася в зонах взаємодії котла з опорами. Проведені дослідження показали, що розбіжність між результатами аналітичного та чисельного моделювання становить 7,9%. Встановлено, що проектний ресурс удосконаленої несучої конструкції вагона-цистерни більш ніж на 20% перевищує ресурс досвідченого зразка автомобіля. Коефіцієнт міцності за втомною міцністю

склав 4,1. Проведені дослідження можуть бути використані тими, хто турбується про зменшення руйнувань несучих конструкцій вагонів-цистерн в режимах експлуатаційного завантаження, зниження витрат на технічне обслуговування та розробку рекомендацій щодо проектування інноваційних конструкцій вагонів.

Проведено дослідження та аналіз стійкості автоцистерни автомобіля-муковоза. Отримані залежності критичних швидкостей руху від: кута віражу; по перевертанню від ширини колії муко воза; по перевертанню від положення центра мас цистерни муко воза та по перевертанню від кута повороту керованих коліс тягача муко воза.

Здійснено розрахунок всмоктувальної та нагнітальної системи пневмотранспортного механізму для транспортування борошна. Визначено розміри ежектора. Проведено розрахунок відцентрової помпи повітронадувного механізму. Проаналізовано стійкість автоцистерни борошновоза. Які є випадки втрати стійкості автоцистерни, наприклад поперечне перекидання або ковзання коліс автомобіля. Визначено зміну критичної швидкості перевертання залежно від різних конструктивних параметрів транспортного засобу. Технічний рівень виробу на 11% вище ніж у попередніх моделях.

Термін окупності складає біля 1 року. Доцільно впроваджувати у виробництво. Проведені вдосконалення технічного оснащення муковозів дозволить збільшити його продуктивність використання безпеки експлуатації. Це дозволить покращити охорону праці на даному виді транспорту, це одна із потреб сьогодення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Олег Сукач, Олег Миронюк, Віктор Шевчук. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційної роботи здобувачами першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». Дубляни, 2023. 50 с.
2. Вільковський Є. К., Бакуліч О. О. Вантажознавство. Львів : Інтелект-Захід, 2005. 222 с.
3. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення : навч. посіб. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с.
4. Формальчик Є.Ю., Качмар Р.Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів: навч.посібник. 2-ге вид., змін та допов. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 324 с.
5. Формальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник / Є.Ю. Формальчик, М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо // За загальною ред. Є.Ю. Формальчик. Львів : Афіша, 2004. 492 с.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. Київ : Вища шк., 2007. 527 с.
7. Яценко М.М. Проектування підприємств автомобільного сервісу / Яценко М.М. Київ: НТУ. 2004. 172 с.
8. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: Навч. посіб. / За ред. проф. С.І. Андрусенка. Київ : Каравелла, 2009. 368 с.
9. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту [електронний ресурс] / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, Є. В. Смирнов, В. Й. Зелінський // ВНТУ. 2011.
10. Грабовецький Б.Є. Економічне прогнозування і планування: навчальний посібник. Київ, 2003. 188 с.
11. Зінь Е.А., Турченко М.О. Планування діяльності підприємства: Навчальний посібник. Рівне. НУВГП, 2008. 136 с.
12. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний

посібник / Є.Ю. Форнальчик та ін. За загальною ред. Є.Ю. Форнальчик. Львів: Афіша, 2004. 492 с.

13. Горяїнов О. М. Практика вантажних перевезень і логістики : навч. посіб. Харків : Вид-во «Кортес-2001», 2008. 323 с.

14. Гурч Л. М. Логістика : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К. : ДП «Видавничий дім «Персонал», 2008. 560 с.

15. Тимочко В.О., Березовецький А.П., Городецький І.М. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів: Сполом. 2022. 376 с.

16. Пістун І. П., Березовецький А. П., Городецький І. М. Охорона праці на автомобільному транспорті : навч. посіб. Львів: Тріада плюс, 2009. 320 с.

17. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч.1. 620 с.; 2015. Ч.11. 224 с.

18. Дмитрієв І.А. Економіка підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник для самостійної роботи та поточного контролю знань студентів закладів вищої освіти / І.А. Дмитрієв, О.С. Іванілов, І.Ю. Шевченко., І.М. Кирчата Харків: ФОП Бровін О.В., 2018. 308 с.

19. Іванілов О.С. Економіка підприємств автомобільного транспорту: підручник для студентів вищих навчальних закладів / О.С. Іванілов, І.А. Дмитрієв, І.Ю. Шевченко. Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. 632 с.

20. <https://rotatrailer.com/tag/155/flour-transport-bulk-carrier-semi-trailer>

21. Demin, Y.V.; Chernyak, G.Y. Fundamentals of Wagon Dynamics; Tutorial; KUETT: Kiev, Ukraine, 2003; 270p. [Google Scholar]

22. 7598:2014; DSTU. Freight Wagons. General Requirements for Calculations and Design of New and Modernized Wagons of 1520 mm Track (Non-Self-Propelled). UkrNDNTS: Kiev, Ukraine, 2015; 162p.

23. Ustich, P.A.; Karpuch, V.A.; Ovechnikov, M.N. Reliability of Non-Traction Rail Rolling Stock; IG «Variant»: Moscow, Russia, 1999; 415p. [Google Scholar]

24. Senko, V.I.; Makeev, S.V.; Komissarov, V.V.; Skorokhodov, S.A. Features of determination of coefficient of the stock resistance of fatigue of designs of the rolling stock. Bull. BSUT Sci. Transp. 2018, 1, 5–9. [Google Scholar].