ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

Підвищення ефективності експлуатації тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Борисенко Денис Віталійович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____ _____

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
Теслюк Г.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«____» _____ 2024 р.

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

Борисенку Денису Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Підвищення ефективності експлуатації тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом
керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«12» листопада 2024 року № 3784

2. **Строк подання студентом роботи** 9.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Матеріали наукової роботи з тематики «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів» номер рєстрації 0108U008380. Паспортні дані господарства.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4 . Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список

використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2.Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В. Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. **Дата видачі завдання**: 3.09.2024р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	**Примітка**
1	Аналітичний (оглядовий)	до 15.10.2024 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 1.11.2024р.	Виконано
3	Експериментальний	до 19.11.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 26.11.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 28.11.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 9.12.2024 р.	Виконано

Студент _____ Борисенко Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Бойко В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№п/п	форм	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
			Текстові документи		
А			Пояснювальна записка	77	
			Демонстраційні		
А			Мета і задачі		
А			Теоретичні дослідження		
А			Експериментальні		
А			Охорона праці		
А			Економічні показники		
А			Висновки		

Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. №дубл. | Подп. и дата | Инв. №подл

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	52.ДР.028.000.000.РД		
Розроб.		Борисенко			Відомість дипломної роботи	Літ.	Арк. 5 / Аркушів 77
Перев.		Бойко В.Б.					
Т. контр.						ДДАЕУ МгАІ-1-23	
Н. контр.		Золотовська					
Зат.		Теслюк Г.В.					

РЕФЕРАТ

Борисенко Д.В. Підвищення ефективності експлуатації тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності експлуатації універсально-просапних тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом.

Заміщення частини дизельного палива стисненим газом дозволить знизити залежність господарства від палив нафтового походження. Використання більш дешевого стиснутого газу забезпечить зниження експлуатаційних витрат за рахунок різниці вартості дизеля та метану.

Робота виконана згідно напрацювань науковців кафедри ТСГМ за науковою тематикою «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів».

Згідно напрацювань кафедри ТСГМ розроблено систему живлення трактора МТЗ-80 та конструкцію кріплення балонів з стисненим газом касетного типу.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень встановлено оптимальне розміщення балонів з стиснутим газом.

Ефективність виконаної кваліфікаційної роботи доведено економічними розрахунками. Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації газобалонних тракторів.

Ключові слова: газодизель, стиснений газ, теплота згорання, індикаторні показники двигуна внутрішнього згорання, питомий об’єм.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 11

1.1 Використання стиснутого газу на тракторних дизелях 11

1.2 Аналіз схем розміщення балонів для зберігання СПГ на тракторі 13

1.3 Особливості процесу заправки стисненим природнім газом сільськогосподарської техніки 17

1.4 Висновки 22

1.5 Мета і завдання досліджень 23

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 24

2.1 Об’єкт дослідження 24

2.2. Теоретичне дослідження розміщення центра ваги трактора МТЗ-80 26

2.3 Теоретичні дослідження центра ваги змінної касети з балонами 29

2.4 Теоретичні дослідження статичних граничних кутів стійкості трактора 31

2.5 Дослідження зміни тягово-зчіпні показників трактора в результаті установки ГБО 40

2.6 Висновки 44

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 45

3.1 Програма досліджень 45

3.2 Газобалонний трактор МТЗ-80 45

3.3 Дослідження ефективних способів заправки газобалонного трактора 53

3.4 Методика та результати експлуатаційних досліджень газобалонного трактора на виконанні технологічних операцій 54

3.5 Методика та результати експериментальних досліджень стійкості трактора 56
3.6 Висновки 60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 61
4.1 Основні принципи організації охорони праці в господарстві 61
4.2 Вимоги з охорони праці під час експлуатації тракторів з ГБО 64
4.3 Заходи безпеки в випадку виникнення пожежі на території машино-тракторного парку 66
4.4. Висновки 68
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ 69
Висновки 72
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ 73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 75
ДОДАТКИ 78

ВСТУП

Актуальність кваліфікаційної роботи. Дизельне паливо являється основним паливом в сільськогосподарському виробництві з долею використання до 86 відсотків в порівнінні з бензином та газом. Так при експлуатації всі трактори та комбайни господарства споживають дизель в якості пального.

Динамічне зростання палив нафтового походження все більше актуалізують використання природнього газу в якості палива для мобільних енергозасобів, що пов'язано з нижчою ціновою політикою газоподібних палив. Заміщення до 70 % дизельних палив стиснутим газом дозволить підвищити економічну ефективність механізації основних процесів сільськогосподарських підприємств [1].

Так газифікація енергетичних установок дозволить знизити витрати на паливо до 30 відсотків при цьому строки окупності проведеної конверсії становитимуть від року до двох років в залежності від завантаження мобільних енергетичних засобів. Для реалізації газифікації енергетичних засобів розбудовується інфраструктура, яка забезпечить заправку пальним та обслуговування чи ремонт газового обладнання. Вирішуються проблеми віддаленості заправних станцій від сільськогосподарських підприємств шляхом введення в експлуатацію мобільних газозаправників. Це дозволяє розширити можливості газифікації техніки навіть в малих фермерських господарствах. Врахувавши вище наведену інформацію тема газифікації мобільних енергетичних засобів є на сьогоднішній день актуальною.

Враховуючи досвід наукової роботи кафедри ТСГМ дана тематика має досить хорошу ступінь розробленості [2, 3]. В кості пілотної роботи розглянемо варіант з заміщенням дизельного палива стисненим природнім газом метаном на прикладі трактора МТЗ-80 з двигуном Д-243, що працюватиме за газодизельним циклом.

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації універсально-просапних тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом.

Завдання дослідження:

1. Дослідити питання експлуатації тракторів загального призначення та універсально-просапних на стисненому газі метані.

2. Провести теоретичне обгрунтування розміщення паливних балонів на базі трактора МТЗ-80.

3. За результатами експериментальних досліджень встановити ефективність використання універсально-просапних тракторів з ежекційною системою подачі газоподібного палива.

4. Виконати удосконалення процесу заправки газовим пальним тракторів шляхом використання касетних модулів з балонами.

5. Визначити економічну ефективність запропонованих розробок.

Об'єктом дослідження є універсально-просапний трактор МТЗ-80 з двигуном Д-243 який працює за газодизельним циклом.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи:

– аналітичні положення для обґрунтування місця розташування балонів на базі трактора МТЗ-80;

– обґрунтування доцільності переведення тракторів МТЗ-80 на газодизельний цикл роботи двигуна.

Практичне значення кваліфікаційної роботи:

– заміщення частини дизельного палива стисненим газом на тракторах марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 дозволяє знизити експлуатаційні витрати на паливо до 30 відсотків;

– розробка касетних модулів з газових балонів дозволяють прискорити процес заправки тракторів газоподібним паливом;

Засоби та методи досліджень. Робота виконана з врахуванням положень теплотехніки, теоретичної механіки, фізики та експлуатації енергетичних машин в агрегаті з сільськогосподарськими машинами. Використовуючи які встановлено значення тягово-зчіпних показників тракторів марки МТЗ-80, що працюють за газодизельним циклом в агрегаті з сільськогосподарськими машинами.

Апробація. За результатами виконаної кваліфікаційної роботи опубліковано в збірнику тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених 15 листопада 2024 «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу».

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Використання стиснутого газу на тракторних дизелях

Завдяки технічному прогресу в галузі газифікації мобільного транспорту на сьогодні існує технічна можливість перевести більшість моделей як тракторів так і автомобілів, які застосовуються в сільському господарстві, на газомоторне паливо.

Одним із найпростіших та ефективних методів для сільського господарства є переведення дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) тракторів на роботу на стиснутому газі метані по газодизельному циклу. У цьому випадку конструкція ДВЗ практично не змінюється, використовуються стандартні елементи паливної системи, головною перевагою являється можливість роботи ДВЗ як на дизелі так і використовуючи суміш дизеля з часткою стисненого або зрідженого природнього газу.

За результатами наукової роботи кафедри ТСГМ розроблено документацію по удосконаленню (переведенню) дизелів для роботи на газоподібному паливі метані для тракторів К-700А, ХТЗ-150К, ЮМЗ-6АК і автомобілів марки КрАЗ та МАЗ [2, 3]. Дослідження проводилися на території П’ятихатського та Дніпровського районів,

Основними перевагами використання газових палив окрім економії на вартості, зниження токсичості відпрацьованих газів та підвищення терміну експлуатації моторних мастил завдяки зменшення сажовмісних сполук при згоранні газомоторного палива та зниження окислення олив. Знижується жорсткість роботи двигуна в режимі газодизеля та загальний рівень шуму ДВЗ на 4-10 дБ [4].

Газ метан відноситься до палив не нафтового походження, який отримують шляхом буріння свердловин звідкіля після очистки від вологи та механічних складових він готовий до використання. Має досить високу

детонаційну стійкість завдяки октановому числу близько 105, що дозволяє його використовувати в високофорсованих двигунах. При згоранні виділяє мінімальну кількість токсичних складових в порівнянні з дизелем та бензином. Що дозволяє знизити вміст чадного газу СО в більш ніж в 2,5 рази при цьому склад важких вуглеводнів знижується до 1,7 разів [5-9]. Для порівняння в таблиці 1.1 наведено основні показники роботи тракторів в режимі дизеля та газодизеля.

Таблиця 1.1 — Основні показники роботи тракторів в режимі дизеля та газодизеля К-700А і ЮМЗ-6АК:

Показники	Марка трактора			
	К-700А		ЮМЗ-6АК	
	Режим роботи			
	Дизель	Газодизель	Дизель	Газодизель
Номінальна потужність ДВЗ, кВт	198,5	191,5	55,1	53,2
Номінальне тягове зусилля, кН	50	50	14	14
Маса трактора, кг	13,5	14,3	3,62	3,81
Швидкість руху, км/год	2,8-32,9	2,9-32,9	1,98-33,4	1,98-33,4
Витрата палива Дизель кг/год Метан, $м^3$/ч	 53,1 –	 10 50,2	 14,8 –	 2,6 13,5
Час роботи трактора за різних режимів, год: – в режимі дизеля – в режимі газодизеля	 25,5 –	 - 29,2	 16,5 –	 18,7

Але на рівні з позитивними сторонами конверсії дизельних двигунів необхідно врахувати і недоліки переведення двигунів на газоподібне паливо. Це перш за все зниження потужності ДВЗ потужності до 15-20%, за рахунок встановлення балонів для зберігання газу зростання маси трактора до 5%, зміщення центра ваги а відповідно до зниження стійкості тракторів [10-12].

За результатами проведених досліджень встановлено, що додаткове збільшення маси трактора позитивно впливає на покращення зчеплення коліс трактора з опорною поверхнею та додатково підвищує тягові показники МТА.

1.2 Аналіз схем розміщення балонів для зберігання СПГ на тракторі

Як уже було сказано раніше розміщення балонів на базі трактора збільшує загальну масу трактора та змінює положення центра ваги, але за правильної компоновки балонів ці параметри можуть покращити тягові показники трактора. Так на рисунку 1.1 представлено варіант розміщення газових балонів на тракторі РТІ-160.

Рисунок 1.1 – Розміщення газових балонів на тракторі РТМ-160

За такої компановки дещо зміщується центр ваги трактора по вертикальній осі вгору а по горизонтальній дещо назад додатково збільшивши

зчеплення задніх коліс трактора за рахунок зміщеня центра ваги та додаткової маси балонів розміщених над задній осі трактора.

Варіанти розміщення балонів на універсально-просапних тракторах на прикладі трактора ЮМЗ-6 представлено на рисункові 1.2 .

а) б)

Рисунок 1.2 – Варіанти розміщення газових балонів на тракторі

За першого варіанту (рис. 1.2, а) балони встановлено на кабіні трактора. Така схема дозволяє забезпечити хорошу оглядовість з робочого місця водія, але при цьому значно зміщується центр ваги трактора по вертикальній вісі трактора, що обмежує його роботу на косогорах та крутих підйомах. В другому випадку (рис. 1.2, б) навпаки різко погіршується оглядовість бокових зон з місця водія, але покращується стійкість та прохідність трактора. Додатково на корзину кріпленя балонів необхідно встановити захисну огорожу та нанести світло повертаючі позначки габаритів трактора для виключення аварійних ситуацій при роз'їзді з транспортними засобами, особливо в темну пору доби чи в умовах недостатньої видимості.

При встановленні газових балонів на гусеничній техніці оптимальним варіантом буде розміщення балонів на даху кабіни трактора, що пов'язано з незначним впливом на зміщення центра ваги гусеничної техніки по вертикальній осі трактора. На рисункові 1.3 наведено приклад установки балонів на гусеничному тракторі ДТ-75М.

Рисунок 1.3 – Розміщення газових балонів на тракторі ДТ-75М

Враховуючи конструктивні особливості тракторів загального призначення найліпшим варіантом буде розміщено балони на задній вісі трактора, що забезпечить додаткове довантаження коліс трактора та збільшеня тягових властивостей трактора на рисунку 1.4 наведено схему розміщення 18 балонів по 50 літрів кожний на базі трактора К-700 в господарстві «Авангард» П’ятихатського району.

Рисунок 1.4 – Розміщення газових балонів на тракторі К-700

Як і в попередньому варіанті на колісному тракторі загального призначення Т-150К балони краще розмістити на задній осі трактора при цьому кількість балонів становитиме небільше 12 штук (рис. 1.5). Цього достатньо для реалізації запасу ходу протягом однієї робочої зміни на оранці трактора. Така компоновка дещо обмежить оглядовість задньої частини МТА але при цьому збільшить зчеплення коліс трактора з опорною поверхнею.

Рисунок 1.5 – Схема розміщення газових балонів на тракторі Т-150К

Основні характеристики балонів що використовуються для зберігання стиснутого природнього газу представлено в додатку А [13]. На рисунку 1.6 представлено основні складові та геометричні параметри балона для СПГ.

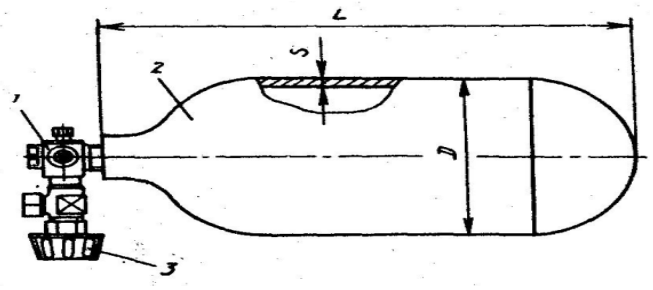


Рисунок 1.6– Газовий балон з арматурою для СПГ

1– перехідний штуцер; 2 – балон; 3 – вентиль

Для забезпечення безпечної експлуатації балони періодично проходять перевірку гідравлічними випробуваннями.

1.3 Особливості процесу заправки стисненим природнім газом сільськогосподарської техніки

Заправку техніки стисненим природним газом можна виконувати використовуючи стаціонарні газозаправочні станції (АГНКС) або мобільні пересувні газозаправники (ПАГЗ).

Будівництво АГНСКС на базі невеликих фермерських господарств є не актуальним перш за все в зв'язку з низьким рівнем завантаженості. Більш переспективним варіантом для таких господарств є можливість використання міні заправних АГНКС. Такого типу станції мають меншу продуктивність і можуть бути підключені до побутових як газових мереж так електричних мереж для живлення компресора станції [14, 15]. Завдяки своїй компактності та невеликому енергоспоживанню міні АГНКС можливо розмістити на базі машино-тракторних бригад сільськогосподарських підприємств. До виробників таких станцій належить досить відома компанія BRC з Італії. В таблиці 1.2 наведено дані побутових міні АГНКС представлених компанією BRC.

Таблиця 1.2 – Міні АГНКС від компанії BRC

Міні АГНКС	Технічні показники	
	FMQ-8,36	FMQ-10
Потужність станції, кВт·год	3,65	4,85
Витрата природнього газу, $м^3$/год	11	14
Максимальний тиск на виході, Атм	250	210
Напруга живлення, В	220	220
Значення габаритних розмірів, мм	850×1230×820	850×1230×820
Маса станції, кг	263	263
Рівень шуму, дБ	67	67

Завдяки компактності основних вузлів (компресора, вентилятора, газозаправного агрегату, електронного блока керування) станція зібрана в малогабаритний корпус розміром 850×1230×820 мм.

Ще одним способом для заправки сільськогосподарської техніки в випадку, якщо господарство де вона розміщується знаходиться на великій відстані від АГНКС є використання пересувних мобільних паливозаправників (ПАГЗ) (рис.1.7). Паливозаправники здійснюють транспортування стисненого газу від АГНКС до господарства де здійснюють заправку сільськогосподарської техніки в спеціально відведених безпечних місцях. Заправка здійснюється без компресорним способом. В додатку Б представлено параметри найбільш поширених ПАГЗ.

ПАГЗ складається з акумуляторів газу, газозаправної колонки з лічильником газу для обліку, системи керування заправкою техніки. Розрізняють два види ПАГЗ пасивні та активні.

Так на рисунку 1.7 представлено паливозаправник пасивного типу ПАГЗ 3000-22 на базі автомобільного тягача КрАЗ-6443 [16].

Рисунок 1.7 – Автозаправник СПГ - ПАГЗ 3000-22

В пасивних ПАГЗ відсутня компресорна станція, що дозволяє використати увесь простір ПАГЗ для розміщення акумуляторів палива. Конструкція ПГАЗ пасивного типу має меншу вартість. Основним недоліком пасивних заправників являється не можливість забезпечити заправку номінальним тиском 20 МПа за умови зниження тиску в акумуляторах заправника нижче заданого показника.

Вирішити дану проблему можливо використовуючи більш вартісні ПАГЗ активного типу з встановленими на її базі компресорними системами з приводом від основного двигуна внутрішнього згорання паливозаправника (рис. 1.8)[17].

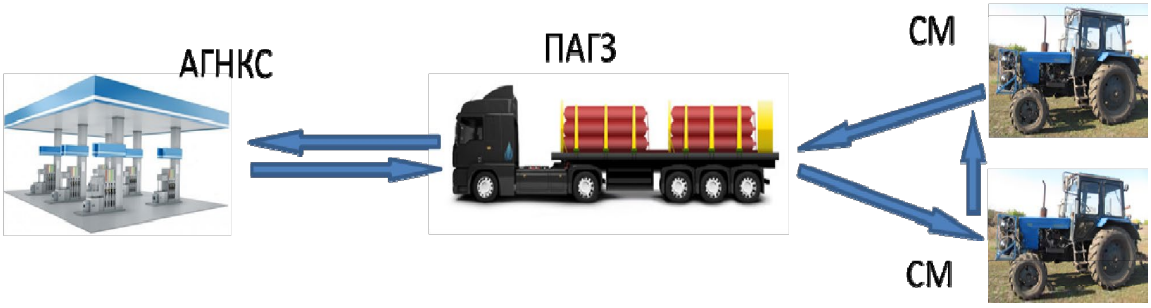
Рисунок 1.8 –Газозаправник активного типу ПГАЗ-1200К

Отже проведений аналіз дозволяє визначитися з способом заправки газом сільськогосподарської техніки. Як ми бачимо використання мобільних газозаправників являється актуальним лише при повному їх завантаженні тобто господарство з невеликою кількістю техніки повинно кооперуватися з такими господарствами що також використовують техніку, що працює на газу це можуть бути АТП фермерські господарства, приватні господарства та ін. Також можна користуватися послугами АГНКС, які мають в своєму автопарку мобільні газозаправники та надають відповідні послуги.

На рисунку 1.9 наведено основні чотири схеми заправки сільськогосподарської техніки стисненим природнім газом.

а)

Назва і короткий опис схеми	Переваги	Недоліки
Схема «а». Заправка сільськогосподарських машин (СМ) за цією схемою проводиться безпосередньо на автомобільних газових наповнювальних компресорних станціях (АГНКС), куди СМ переганяють з місця роботи	Висока продуктивність і пропускна здатність	Віддаленість від основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки

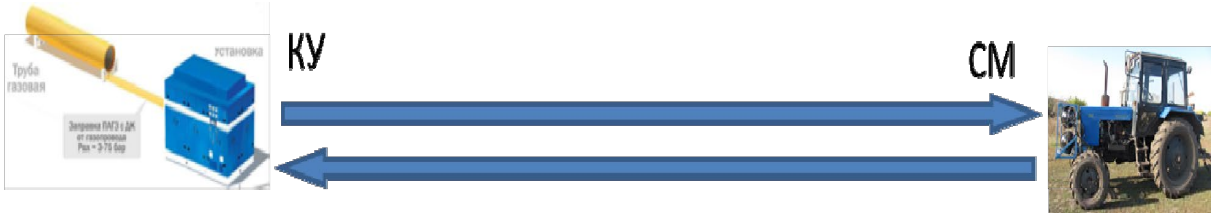


б)

Схема «б». За цією схемою заправка СМ проводиться від заправлених на АГНКС пересувних автогазозаправників (ПАГЗ). ПАГЗи використовуються за умови, що дорога на всій ділянці шляху має дорожнє покриття. Заправка СМ в цьому випадку проводиться на обладнаних майданчиках куди вони, і доставляються з місця роботи	Близькість до основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки	Низька продуктивність і пропускна здатність, неповна заправка (у випадку з використанням пасивного ПАГЗ), додаткові витрати на заправку

в)

Схема «в». Заправка сільськогосподарських машин проводиться від балонних модулів (БМ), які в свою чергу заправляються від ПАГЗа, що підвозить стиснений природний газ від АГНКС	Висока продуктивність і пропускна здатність	Віддаленість від основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки



г)

Схема «г». Заправка СМ за даною схемою може здійснюватися від компресорної установки (КУ), яка підключена до системи центрального газопостачання	Близькість до основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки	Низька продуктивність і пропускна здатність

Рисунок 1.9 –Аналіз схем заправки тракторів

1.4 Висновки

1. Підвищити ефективність механізованих робіт можливо шляхом переведення енергетичних засобів тракторів на більш дешеве паливо не нафтового походження наприклад стиснений природній газ. Врезультаті проведеного аналізу дослідженнь експлуатації техніки заміщенням дизельного палива газоподібним метаном зниження експлуатаційних витрат становить близько 30 % при цьому окупність проведеної конверсії коливається від року до двох в залежності від завантаження техніки протягом року.

2. Основним стримуючим фактором по розширенню газифікації сільськогосподарської техніки являється відсутність необхідної інфраструктури для виконання заправки техніки що експлуатується на газу. Вирішити дане питання можливо використовуючи мобільні газозаправники створивши спілку фермерів об'єднаних одною справою, а саме експлуатаціє техніки, що працює на стиснутому природному газі. Також можливо укладення договорів з АГНКС що надають послуги мобільної заправки техніки.

3. За результатами проведеного аналізу відсутня інформація по теоретичному дослідженню ефективності розміщення балонів для зберігання стиснутого природнього газу на базі універсально-просапних тракторів тягового класу 14 кН.

4. Не розкрито питання виконання швидкої заправки тракторів за допомогою касетного способу. Тому в кваліфікаційній роботі розкриємо питання теоретичного обґрунтування розміщення балонів на базі трактора та касетний спосіб заправки.

1.5 Мета і завдання досліджень

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації універсально-просапних тракторів марки МТЗ-80 з двигуном Д-243 шляхом заміщення частини дизельного палива стисненим газом.

Завдання дослідження:

1. Дослідити питання експлуатації тракторів загального призначення та універсально-просапних на стисненому газі метані.

2. Провести теоретичне обгрунтування розміщення паливних балонів на базі трактора МТЗ-80.

3. За результатами експериментальних досліджень встановити ефективність використання універсально-просапних тракторів з ежекційною системою подачі газоподібного палива.

4. Виконати удосконалення процесу заправки газовим пальним тракторів шляхом використання касетних модулів з балонами.

5. Визначити економічну ефективність запропонованих розробок.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

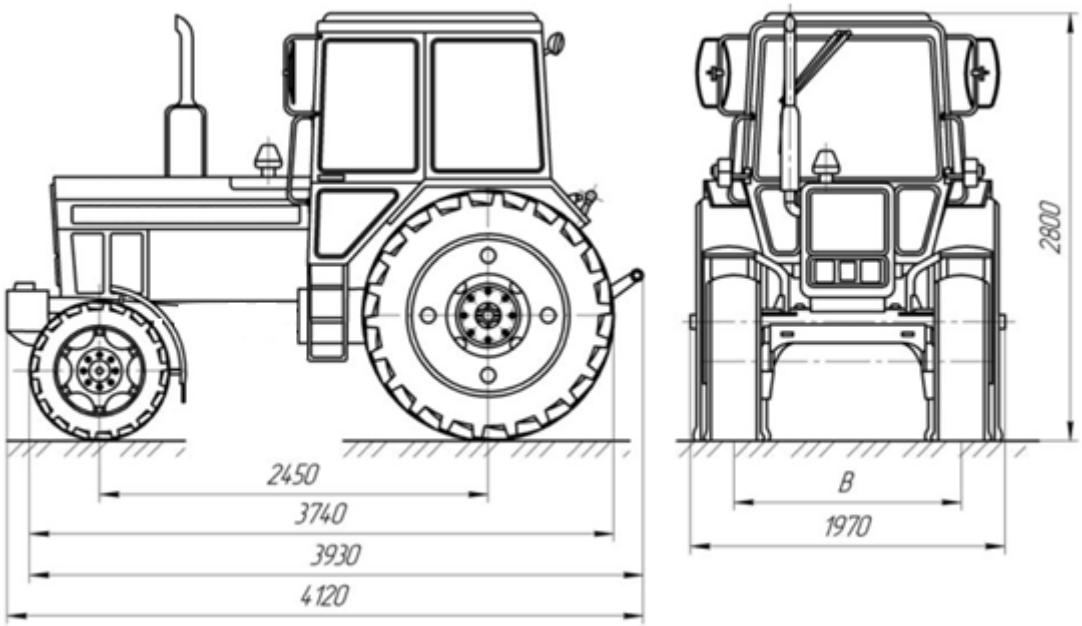
2.1 Об’єкт дослідження

Універсально-просапні трактори завдяки своїй універсальності досить активно використовуються сільськогосподарських підприємствах на вирощуванні просапних культур. До початку війни в Україні було зареєстровано близько 300 тисяч тракторів з яких близько 60 % складають універсально-просапні трактори. Найбльшу частку а це близько 68 % становлять трактори марки МТЗ, що завдяки своїй надійності отримали найбільше поширення серед аграріїв. Тому в даній кваліфікаційній роботі з метою підвищення ефективності експлуатації унівrсально-просапних тракторів завдяки переведенню їх на роботу на газоподібному паливі. В якості об’єкта досліджень обираємо трактор МТЗ-80 (рис.2.1) [18, 19]. Трактор має клас тяги 1,4 тони, всі ведучі колеса, які забезпечують йому хороші тягові показники та прохідність, що особливо важливо при виконанні технологічних операцій в умовах поля.

Завдяки використанню роздільно-агрегатної гідравлічної системи можливо виконівати агрегатування з різними навісними та причіпними машинами які мають до двох гідрофікованих виконавчих пристроїв. Енергетична установка трактора дизель Д-243 – це чотирициліндровий, чотиритактний двигун, що дозволяє реалізувати 60 кВт потужності [20]. Завдяки рідинному охолодженню трактор легко перенасить роботу в жаркому кліматі. Встановлений електростартер дозволяє полегшити процес пуску дизеля без надмірних зусиль з робочого місця оператора. Реалізацію хорошої прохідності окрім повного приводу забезпечує система автоматичного блокування диференціалу за умови робочого режиму роботи МТА, тобто під час виконання технологічних операцій в умовах . В зв’язку з встановленням на об’єкт дослідження газового обладнання виника нагальна потреба в

досліджені питання зміщення центра ваги трактора та зміни його граничних показників стійкості.

а



б

Рисунок 2.1 – Об’єкт дослідження трактор МТЗ-80 [18, 19]

а – загальний вигляд; б – габаритні розміри

2.2. Теоретичне дослідження розміщення центра ваги трактора МТЗ-80

На першому етапі дослідження граничних показників стійкості трактора МТЗ-80 встановимо значення розташування центра ваги трактора без використання додатково встановленого газового обладнання. Для цього скористаємося загально прийнятою методикою з використанням аналітичного способу визначення горизонтальної та вертикальної координати центра ваги [21, 22].

Для визначення горизонтальної координати центра ваги трактора розмістимо його на горизонтальній ділянці для встановлення значення маси, що приходиться на передні опорні колеса використаємо електронні автомобільні ваги. Для цього передні опорні колеса розмістимо на них.

Врахувавши отримані значення маси, що приходиться на передню вісь визначимо значення горизонтальної координати центра ваги ЦВ за рівнянням:

$$\bar{x} = \frac{dF_2}{m} \tag{2.1}$$

де d – повздовжня база трактора, м

F_2 – реакція на предній вісі трактора, Н

m – маса трактра, кг.

Вертикальну координату $h_{\text{Ц}}$ також визначимо аналітичним шляхом використавши формулу [21]:

$$h_{\text{Ц}} = \left(\frac{c}{\cos\alpha} - \bar{x}\right) \tag{2.2}$$

де c – відстань між віссю заднього мосту та точкою цента ваги у горизонтальній площині, м.

α – кут нахилу трактора в вертикальній площині, град

Загальний вигляд трактора при визначенні координат представлено на малюнку 2.2.

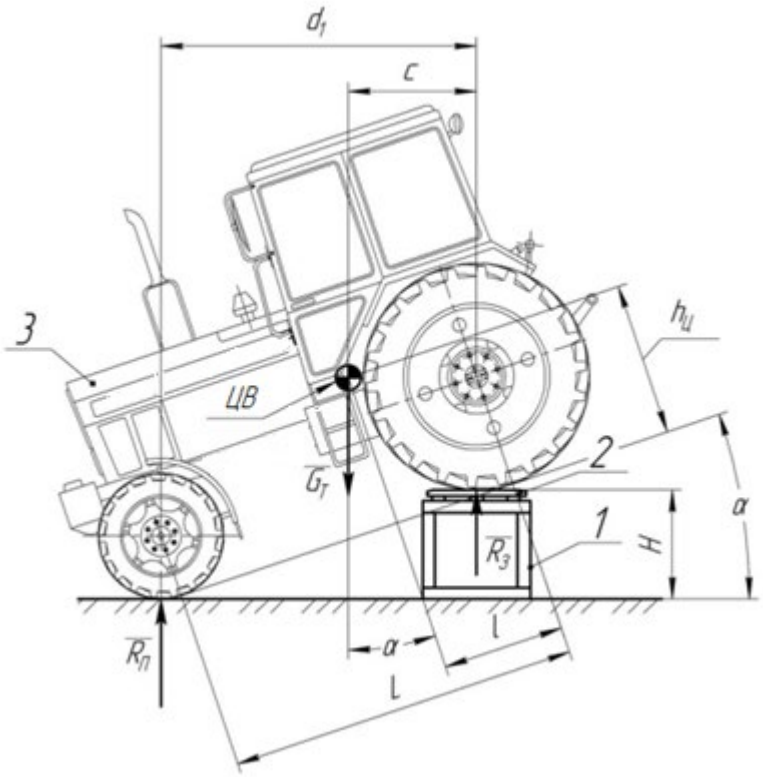


Рисунок 2.2 – Визначення вертикальної координати ЦВ трактора:
1 – підставка; 2 – ваги електронні автомобільні; 3 – трактор МТЗ- 80

Умова рівноваги трактора:

$$G_T(d_1 - \mathrm{c}) - R_3 d_1 = 0 \tag{2.3}$$

$$G_T = m \cdot g \tag{2.4}$$

де $G_T -$ вага трактора, Н

g – постійна прискорення вільного падіння, м/с^2;

R_3 – значення реакції на задніх опорних колесах, Н;

d_1 – значення відстані між задніми опорними колесами, м.

де L – довжина поздовжньої бази трактора, м;

Значення відстані d_1 визначимо за рівнянням:

$$d_1 = L\cos\alpha \tag{2.5}$$

Тоді значення відстані між віссю заднього мосту та точкою цента ваги у горизонтальній площині визначимо зп рівнянням:

$$c = \frac{(G_T - R_3)\cdot L\cos\alpha}{G_T} \tag{2.6}$$

Відповідно рівняння 2.2 набуде вигляду:

$$h_{\text{ц}} = \left(\frac{(G_T - R_3)\cdot L}{G_T} - \bar{x}\right)\cdot ctg\alpha \tag{2.7}$$

Значення горизонтальної поперечної координати ЦВ визначимо за рівнянням 2.8 попередньо визначивши значення опорні реакції F_4 і F_5 на задніх колесах за допомогою електронних вагів.

$$\text{у} = \frac{d_t}{2} - b \tag{2.8}$$

де d_t – ширина поперечної бази трактора, м;

b – відстань від правого заднього колеса до точки ЦВ, м

Значення відстані b визначимо за формулою:

$$b = \frac{d_t F_5}{m} \tag{2.9}$$

Виконавши розрахунки за рівняннями 2.1-2.9 отримано значення горизонтальної поздовжньої координати ЦВ, $\text{х} = 0{,}856$ м горизонтальної

поперечної координати $y = 0{,}007$ м і вертикальної координата ЦВ $h_{ц} = 1{,}024$ м.

Наступним етапом теоретичних досліджень буде визначення центру ваги змінної касети з газовими балонами, що буде додатково встановлена на базі трактора.

2.3 Теоретичні дослідження центра ваги змінної касети з балонами

Основною складовою газового обладнання, яке найбільш суттєво впливає на зміну центра ваги трактора є газові балони. Використавши напрацювання кафедри ТСГМ, приймаємо для встановлення на трактор МТЗ-80 метало-композитні балони БА-3-68 [23]., загальний об'єм балона становить 68 л, а маса брутто 60 кг. Балон має довжину – 0,84 м, за діаметра балону – 0,401 м.

Балони розміщуємо по два в змінній касеті, що дозволяє оперативно проводити перезаправку трактора. Касета виконана з профільної труби 40х40 загальною масою – 30 кг. Маса касети з заправленими балонами становить 150кг.

Кріплення касет організовано за допомогою рамок масою 16 кг виконаних з кутика 50х50х5. Центр ваги складових касети та елементів її кріплення визначимо за загальноприйнятими методиками [21, 22]. На рисунку 2.3 представлено розрахункову схему визначення ЦВ.

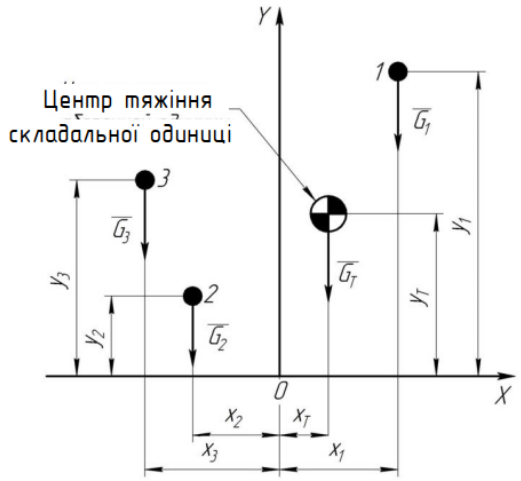


Рисунок 2.3 –Розрахункова схема визначення ЦВ складових

Координату x_T ЦВ касети з балонами відносно вісі X визначимо за рівнянням:

$$x_T = \frac{\sum(G_i x_i)}{\sum G_i} \tag{2.10}$$

де G_i – вага і – го елемента, що входить до складу агрегату, Н;

x_i – значення координати ЦВ і-го елементу відносно вісі X, мм.

Координату y_T ЦВ касети з балонами відносно вісі Y визначимо за рівнянням:

$$y_T = \frac{\sum(G_i y_i)}{\sum G_i} \tag{2.11}$$

де y_i– значення координати ЦВ і-го елементу відносно вісі Y, мм.

Координату z_T ЦВ касети з балонами відносно вісі Z визначимо за рівнянням:

:

$$z_T = \frac{\sum(G_i z_i)}{\sum G_i} \tag{2.12}$$

де z_i– значення координати ЦВ і-го елементу відносно вісі Z, мм.

На рисункові 2.4 та 2.5 представлено значення координат ЦВ відповідно рампи для кріплення касети та касети з балонами.

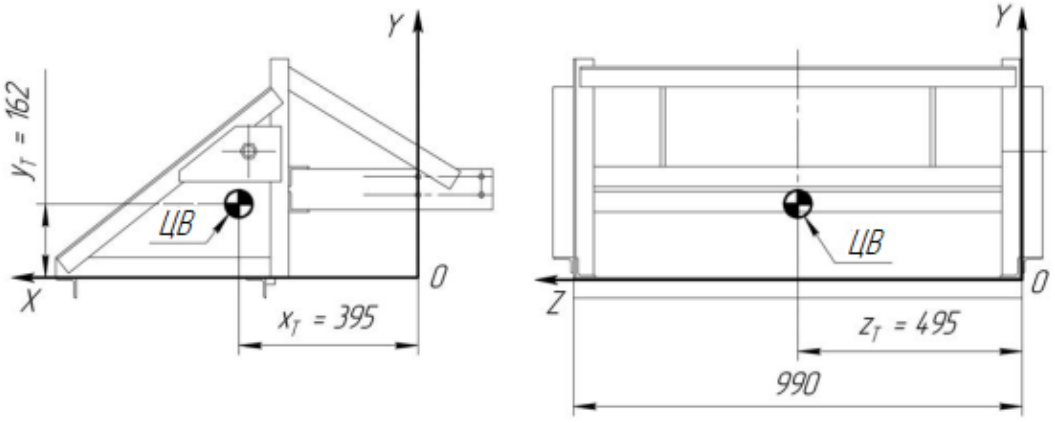


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема визначення ЦВ рампи

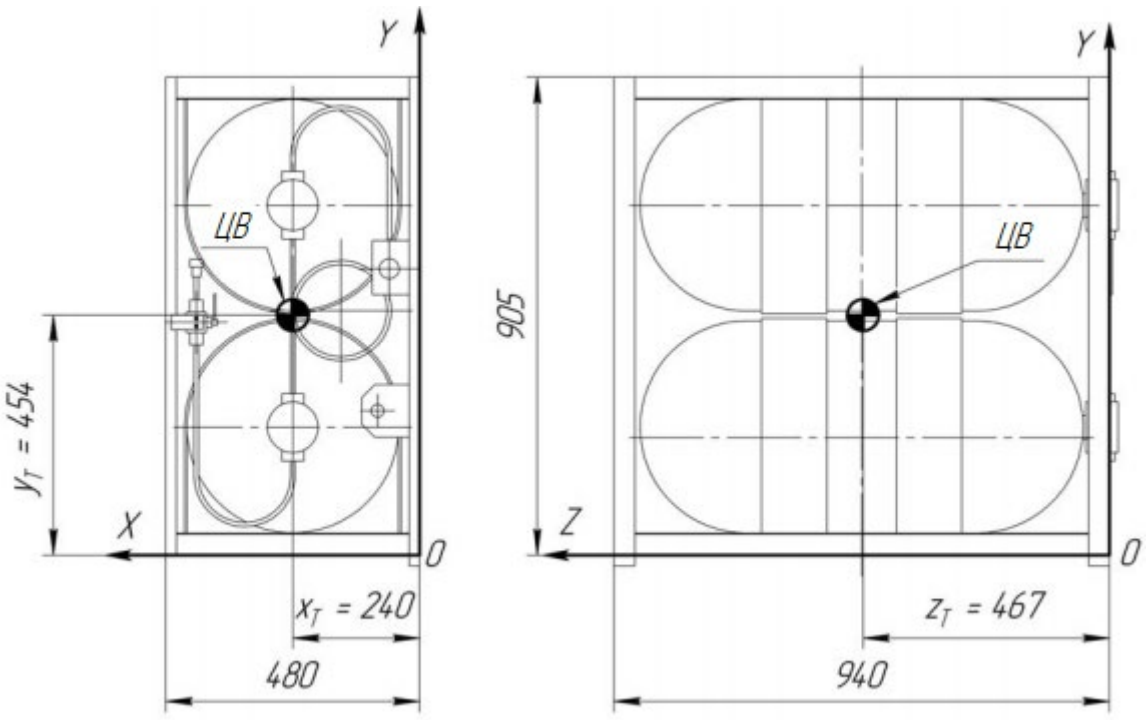


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема визначення ЦВ касети

Отримані значення розміщення центра ваги касети з балонами та рампи кріплення касети дозволять встановити їх вплив на значення статичних граничних кутів стійкості трактора з ГБО

2.4 Теоретичні дослідження статичних граничних кутів стійкості трактора

В результаті проведеної установки ГБО на трактор МТЗ-80 змінилося значення центра ваги особливо при розміщенні балонів на криші кабіни трактора. Так зміщення центра ваги впливає на його стійкість. Для реалізації безпечної експлуатації трактора з ГБО без перекидань проведемо теоретичні дослідження граничних статичних кутів трактора.

Умова перекидання трактора [24]:

$$M_{\text{пер}} \geq M_{\text{стаб}} \tag{2.13}$$

де $M_{\text{пер}}$ – перекидальний момент, Н · м;

$M_{\text{стаб}}$ – стабілізаційний момент, Нм.

Згідно теоретичних положень стійкості енергетичних засобів стійкість поділяється на поперечну та поздовжню. За поздовжньої стійкості трактор чинить опір від перекидання його вперед або назад.

Граничний статичний кут підйому $\alpha_{lim\text{ПІД}}$ – це максимальний кут підйому, за якого нерухомий трактор стоїть, не перекидаючись.

Граничний статичний кут ухилу $\alpha_{lim\text{УХ}}$ – це максимальний кут ухилу, за якого нерухомий трактор стоїть, не перекидаючись.

Граничний статичний кут поперечного ухилу $\beta_{lim\text{УХ}}$ – це максимальний кут поперечного ухилу, за якого нерухомий трактор стоїть, не перекидаючись.

Згідно проведеного аналізу в попередньому розділі існують різні компоновочні схеми розміщення газових балонів на базі трактора. Врахувавши їх переваги і недоліки обираємо варіант установки касети з балонами в передній частині трактора. Такий варіант не погіршує оглядовість та покращує керування трактора завдяки підвищення зчеплення передніх напрямних ведучих коліс .

Для дослідження впливу розміщення ГБО проведемо розрахунки за різної компоновки розміщення газових балонів. На першому етапі досліджень виконаємо розрахунок граничних кутів стійкості трактора МТЗ-80 з ГБО на підйомі (рис. 2.6).

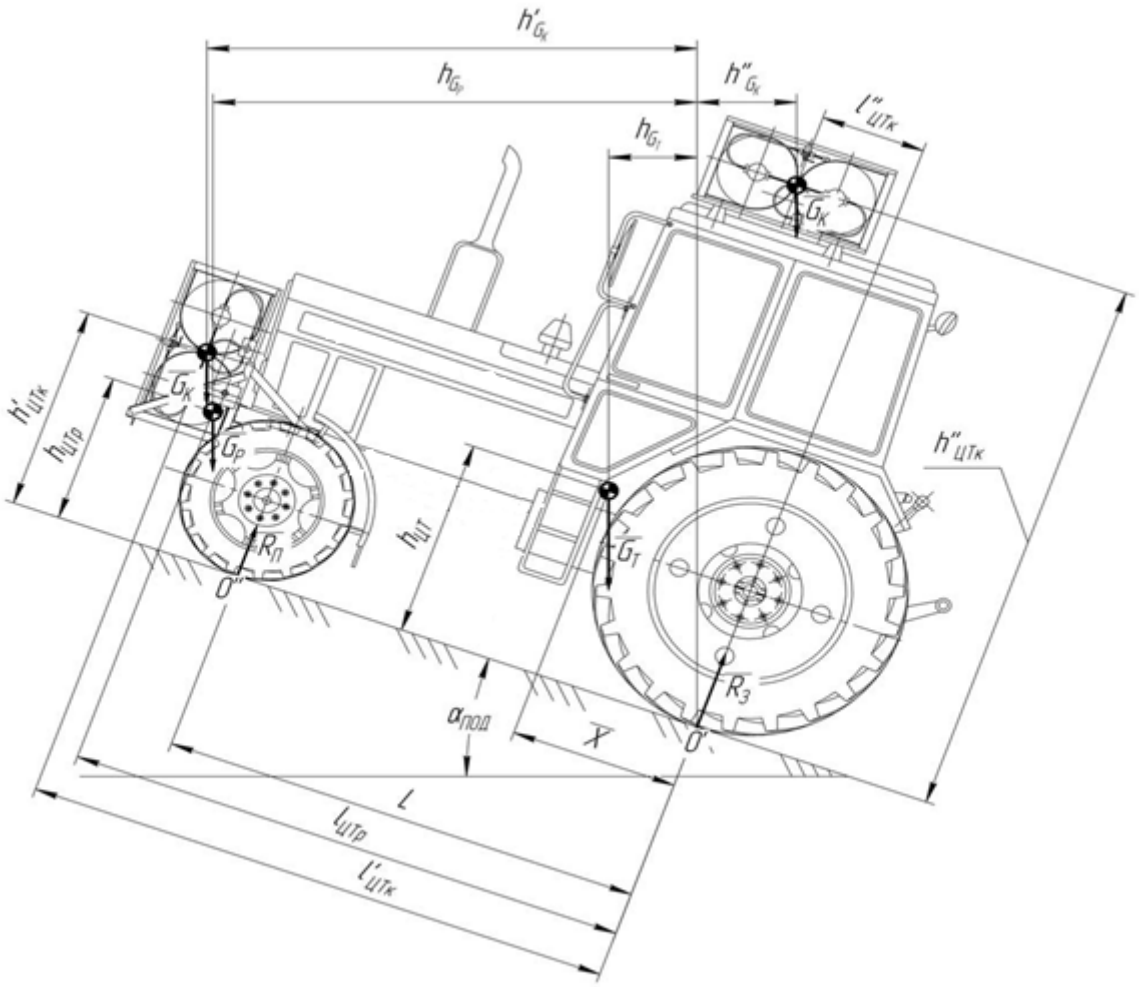


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема теоретичних досліджень значення статичного граничного кута підйому трактора МТЗ-80 з ГБО

G_T – сила тяжіння трактора, Н; G_K – сила тяжіння касети з балонами, Н

G_P – сила тяжіння рампи, Н.

Рівняння рівноваги трактора на підйомі відносно вісі перекидання О' за умови розташування касети з балонами попереду трактора:

$$\sum M_0(F_i) = 0;\ G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} - R_{\Pi q} L = 0 \qquad (2.14)$$

де h_{G_T} - плече на яке діє сила тяжіння трактора G_T, мм;

$$h_{G_T} = \bar{x}\, cos\, \alpha_{\text{ПІД}} - h_{\text{цт}}\, sin\, \alpha_{\text{ПІД}} \qquad (2.15)$$

h'_{G_K}– плече на яке діє сила тяжіння касети з балонами G_K, мм;

$$h'_{G_K} = l'_{\text{Ц.Тк}} \cos \alpha_{\text{ПІД}} - h'_{\text{Ц.Тк}} \sin \alpha_{\text{ПІД}} \quad (2.16)$$

де $l'_{\text{Ц.Тк}}$ – значення горизонтальної координати ЦВ касети з балонами, встановленої попереду трактора, мм;

$h'_{\text{Ц.Тк}}$ – значення вертикальної координати ЦВ касети з балонами, встановленої попереду трактора, мм;

h_{G_P} – плече на яке діє сила тяжіння рампи G_p, на якій встановлюється змінна касета, мм;

$$h_{G_P} = l_{\text{Ц.Тр}} \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{Ц.Тр}} \sin \alpha_{\text{ПОД}} \quad (2.17)$$

де $l_{\text{Ц.Тр}}$ – значення горизонтальної координати ЦВ рампи, мм;

$h_{\text{Ц.Тр}}$ – значення вертикальної координати ЦВ рампи, мм;

L – значення повздовжньої колісної бази трактора, м;

За умови розміщення балонів на даху кабіни трактора МТЗ-80:

$$\sum M_0(F_i) = 0\,; \;\; G_T h_{G_T} + G_K h''_{G_K} - R_{\text{П}} L = 0 \quad (2.18)$$

де h''_{G_K} – плече на яке діє сила тяжіння касети з балонами, мм;

$$h''_{G_K} = l''_{\text{Ц.Тк}} \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h''_{\text{Ц.Тк}} \sin \alpha_{\text{ПОД}} \quad (2.19)$$

$l''_{\text{Ц.Тк}}$ – значення горизонтальної координати ЦВ касети, мм;

$h''_{\text{Ц.Тк}}$– значення вертикальної координати ЦВ касети, мм;

Значення реакції $R_П$ на передній вісі за умов перевертання трактору буде дорівнювати нулю. Перекидання трактора відбувається за перевищення граничного статичного кута підйому $\alpha_{lim ПОД}$. Значення граничного кута визначимо за рівнянням:

при розміщенні касети з балонами по переду трактора:

$$\alpha'_{lim ПОД} = arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{Ц.Тк} + G_Р h_{Ц.Тр}}{G_T h_{Ц.Т} + G_K h'_{Ц.Тк} + G_Р h_{Ц.Тр}} \quad (2.20)$$

при розміщенні касети з балонами на даху кабіни трактора:

$$\alpha''_{lim ПОД} = arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{Ц.Тк}}{G_T h_{Ц.Т} + G_K h''_{Ц.Тк}} \quad (2.21)$$

На наступному етапі теоретичних досліджень визначимо значення граничного статичного кута ухилу з різною компоновкою розміщення касети з балонами (рис. 2.7).

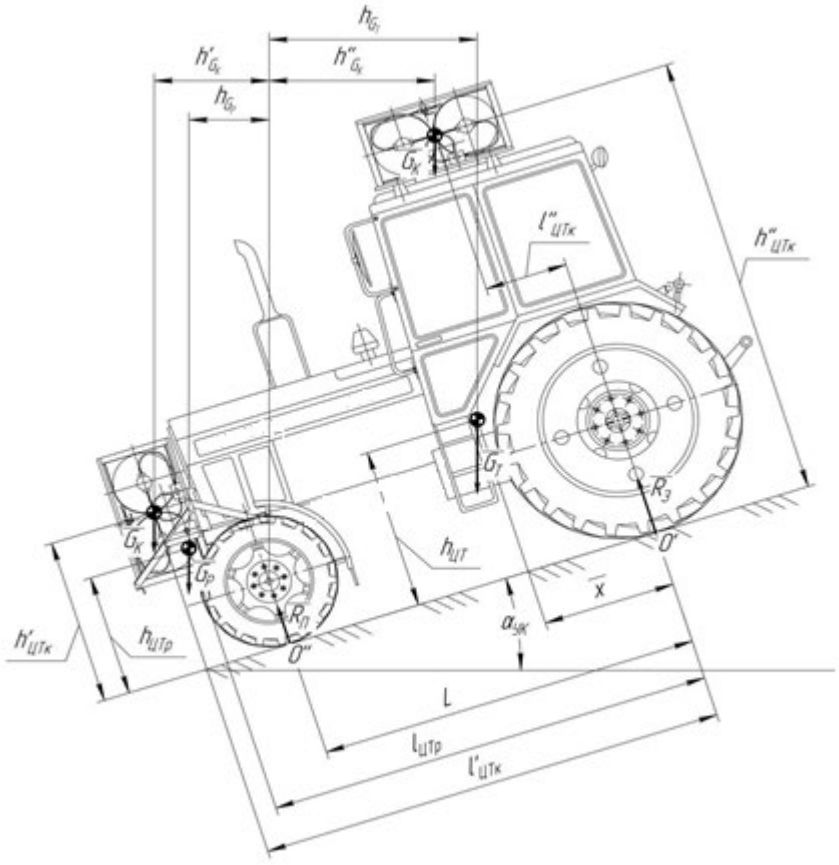


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема теоретичних досліджень значення статичного граничного кута ухилу трактора МТЗ-80 з ГБО

За умови розташування касети з балонами по переду трактора рівняння рівноваги отримає вигляд:

$$0.\sum M_0(F_i) = 0\ ;\ -G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} + R_З L = 0 \qquad (2.22)$$

Значення плеча h_{G_T} визначимо за рівнянням:

$$h_{G_T} = (L - \bar{x})\cos\alpha_{\text{ух}} - h_{\text{цт}}\sin\alpha_{\text{ух}} \qquad (2.23)$$

Значення плеча $h'_{G_\text{к}}$ визначимо за рівнянням:

$$h'_{G_\text{к}} = \left(l'_{\text{Ц.Тк}} - L\right)\cos\alpha_{\text{ух}} - h'_{\text{Ц.Тк}}\sin\alpha_{\text{ух}} \qquad (2.24)$$

Значення плеча $h_{G_\text{Р}}$ визначимо за рівнянням:

$$h_{G_\text{Р}} = \left(l_{\text{Ц.Тр}} - L\right)\cos\alpha_{\text{ух}} - h_{\text{Ц.Тр}}\sin\alpha_{\text{ух}} \qquad (2.25)$$

За умови розташування касети з балонами на даху кабіни трактора рівняння отримає вигляд:

:

$$\sum M_0(F_i) = 0\ ;\ -G_T h_{G_T} - G_K h''_{G_K} + R_З L = 0 \qquad (2.26)$$

Значення плеча h''_{G_K} визначимо за рівнянням:

$$h''_{G_K} = \left(L - l'_{\text{Ц.Тк}}\right)\cos\alpha_{\text{ук}} - h''_{\text{Ц.Тк}}\sin\alpha_{\text{ук}} \qquad (2.27)$$

Значення реакції $R_З$ на задній вісі за умов перевертання трактору буде дорівнювати нулю. Перекидання трактора відбувається за перевищення

граничного статичного кута ухилу $\alpha_{lim\text{УХ}}$. Значення граничного кута визначимо за рівнянням:

при розміщенні касети з балонами по переду трактора:

$$\alpha'_{lim\text{УХ}} = arctg\frac{(G_T+G_K+G_P)\cdot L-G_T\bar{x}-G_K l'_{\text{Ц.Тк}}-G_P l_{\text{Ц.Тр}}}{G_T h_{\text{Ц.Т}}+G_K h'_{\text{Ц.Тк}}+G_{\text{Р}} h_{\text{Ц.Тр}}} \quad (2.28)$$

при установці балонів на даху трактора:

$$\alpha''_{lim\text{УХ}} = arctg\frac{(G_T+G_K)\cdot L-G_T\bar{x}-G_K l''_{\text{Ц.Тк}}}{G_T h_{\text{Ц.Т}}+G_K h''_{\text{Ц.Тк}}} \quad (2.29)$$

На наступному етапі теоретичних досліджень розглянемо рівняння рівноваги для визначення статичного граничного кута поперечного ухилу трактора (рис. 2.8).

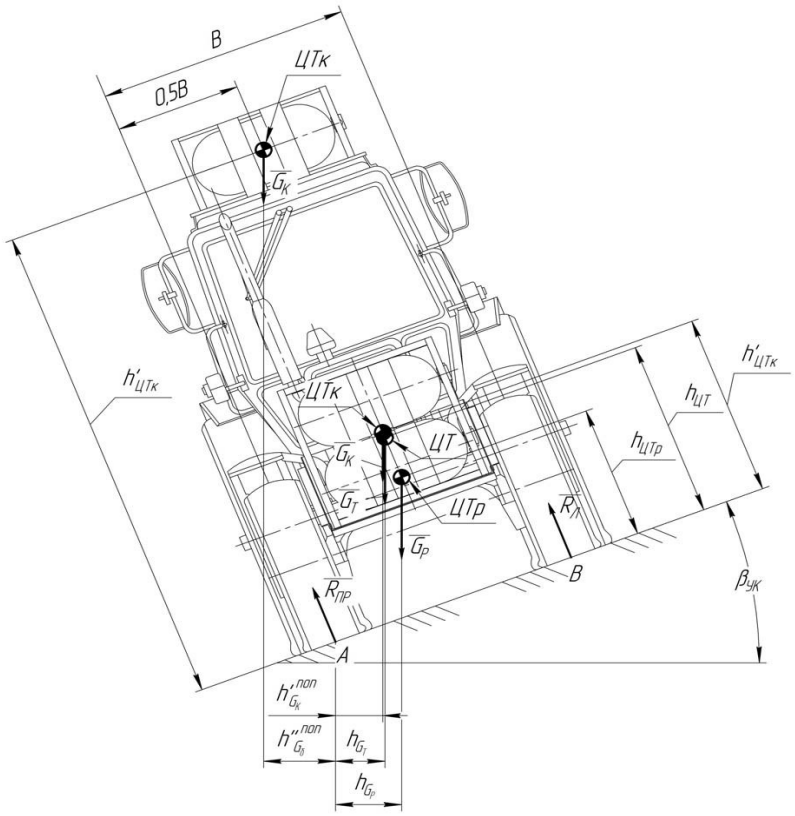


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема теоретичних досліджень значення статичного граничного кута поперечного ухилу трактора МТЗ-80 з ГБО

За умови розташування касети з балонами по переду трактора рівняння рівноваги отримає вигляд:

$$\sum M_{\text{А}}(F_i) = 0\ ;\ \ R_{\text{Л}}B - G_T h_{G_T}^{\text{поп}} - G_K h_{G_K}^{\prime\text{поп}} - G_P h_{G_P}^{\text{поп}} = 0 \qquad (2.30)$$

де $R_{\text{Л}}$ – значення реакції , що діє на ліві опорні колеса, Н;

$h_{G_T}^{\text{поп}}$ – плече на яке діє сила тяжіння трактора, мм;

$h_{G_K}^{\prime\text{поп}}$ – плече на яке діє сила тяжіння касети з балонами, мм;

$h_{G_P}^{\text{поп}}$ – плече на яке діє сила тяжіння рампи для кріплення касети, мм.

Значення плеч визначимо за рівняннями:

$$h_{G_T}^{\text{поп}} = 0.5B\cos\beta_{\text{УХ}} - h_{\text{ЦТ}}\sin\beta_{\text{УХ}} \qquad (2.31)$$

$$h_{G_K}^{\prime\text{поп}} = 0.5B\cos\beta_{\text{УХ}} - h'_{\text{Ц.Тк}}\sin\beta_{\text{УХ}} \qquad (2.32)$$

$$h_{G_P}^{\text{поп}} = 0.5B\cos\beta_{\text{УХ}} - h_{\text{Ц.Тр}}\sin\beta_{\text{УХ}} \qquad (2.33)$$

де В – значення колії трактора, мм.

За умови розташування касети з балонами на даху кабіни трактора рівняння рівноваги отримає вигляд:

$$\sum M_{\text{А}}(F_i) = 0\ ;\ \ R_{\text{Л}}B - G_T h_{G_T}^{\text{поп}} - G_K h_{G_K}^{\text{"поп}} \qquad (2.34)$$

де $h_{G_K}^{\text{"поп}}$ – плече на яке діє сила тяжіння касети з балонами розміщена на даху кабіни, мм.

Значення плеча визначимо за формулою:

$$h_{G_K}^{\text{"поп}} = 0.5B\cos\beta_{\text{УК}} - h_{\text{ЦТк}}^{\text{"}}\sin\beta_{\text{УК}} \qquad (2.35)$$

Значення реакції $R_Л$ що виника з боку опори за умов перевертання трактору буде дорівнювати нулю. Перекидання трактора відбувається за перевищення граничного статичного кута ухилу $\beta_{limУХ}$Значення граничного кута визначимо за рівнянням:

при розміщенні касети з балонами по переду трактора:

$$\beta_{limУХ} = arctg\frac{0.5B(G_T+G_K+G_P)}{G_T h_{ЦТ}+G_K h'_{ЦТк}+G_P h_{ЦТр}} \quad (2.36)$$

при розміщенні касети з балонами на даху кабіни трактора:

$$\beta_{limУХ} = arctg\frac{0.5B(G_T+G_K)}{G_T h_{ЦТ}+G_K h''_{ЦТк}} \quad (2.37)$$

Використавши отримані аналітичні залежності проведено розрахунки статичних граничних кутів результати, яких наведено вигляді діаграми наведеної на рисунку 2.9.

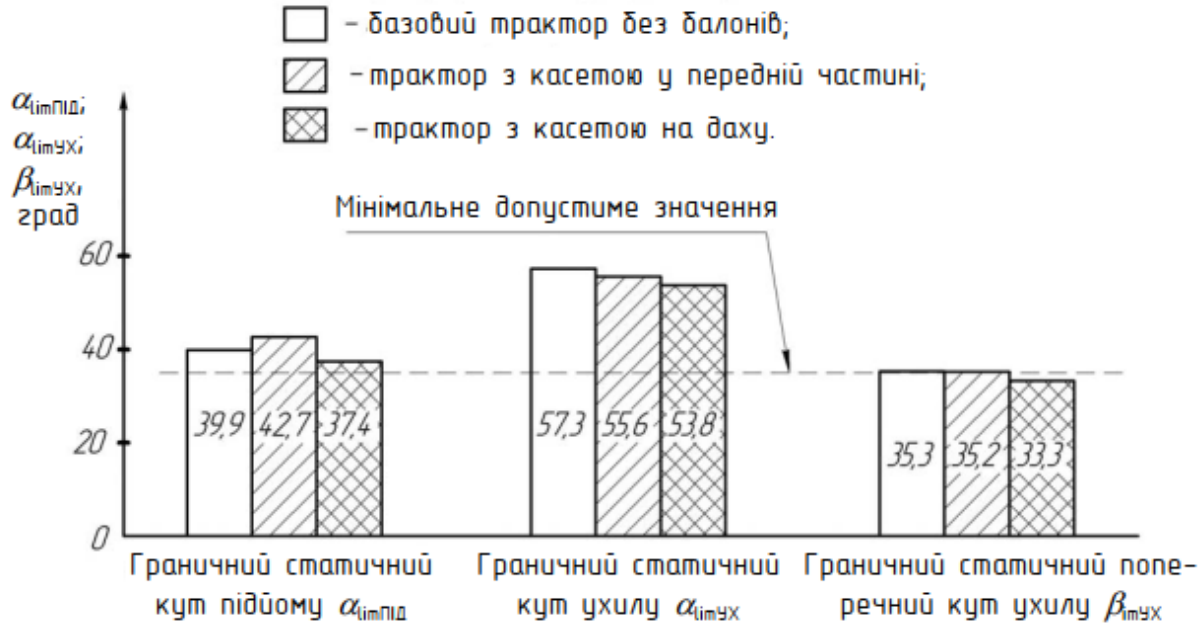


Рисунок 2.9 – Результати теоретичних досліджень граничних статичних кутів стійкості тракторів МТЗ-80

2.5 Дослідження зміни тягово-зчіпні показників трактора в результаті установки ГБО

Розподіл потужності від двигуна внутрішнього згорання добре описується балансом потужності трактора. З даного виразу левова частка потужності використовується на переміщення трактора, а саме формування колії, відштовхування та переміщення знарядь. В процесі відштовхування частина потужності в деяких випадках до 30 % витрачається на буксування рушіїв [21, 25, 26]. Згідно теоретичних положень буксування рушіїв δ визначається, як різниця між теоретичною v_T та дійсною швидкістю $v_Д$ руху МТА.

$$\delta = \frac{v_T - v_Д}{v_T} \tag{2.38}$$

Буксування являється негативним явищем, яке пов'язане з втратою зчеплення рушіїв з опорною поверхнею, що призводить до зниження продуктивності МТА та перевитрати пального. Додаткове навантаження завдяки ГБО, а саме касеті з балонами дозволяють підвищити зчіпну вагу трактора, що позитивно впливає зчіпні властивості рушіїв. Для біль точного впливу ГБО на тягово-зчіпні показники об'єкта модернізації виконаємо теоретичні дослідження.

Залежність коефіцієнта буксування рушіїв від відносного тягового опору на гаку трактора визначимо за рівнянням [27]:

$$\delta = aP_г + bP_г^c \tag{2.39}$$

де a, b, c – експлуатаційні коефіцієнти, які залежатимуть від загального типажу трактора;

Рг - відносна сила тяги на гаку трактора, Н/Н.

Значення відносної сили тяги $P_г$ визначимо за рівнянням [27]:

$$P_г = \frac{P_{КРг}}{P_{К\varphi г}} \quad (2.40)$$

де $P_{КРг}$ – значення частки сили тяги на гаку, на відповідній вісі трактора Н;

$P_{К\varphi г}$ – значення максимально допустимої сили тяги на одній із вісей трактора, Н.

Значення частки сили тяги на гаку, на відповідній вісі трактора визначимо за рівнянням:

$$P_{КРг} = \frac{Y_г}{G_T} \cdot P_{КР} \quad (2.41)$$

де $Y_г$ – значення частки сили тяжіння трактора, на відповідній вісі, Н.

Згідно з теоретичними положеннями [27] сила тяжіння на відповідній вісі трактора дорівнює реакціям на цих вісях.

$$Y_{гП} = R_П,\ Y_{гЗ} = R_З \quad (2.42)$$

де $Y_{гП}$, $Y_{гЗ}$ – значення частки с тяжіння трактора, що припадає відповідно на передню та задню осі трактора, Н;

$R_П$, $R_З$ – реакції з боку ґрунту, що діють на передню та задню осі трактора, Н.

Тоді рівняння рівноваги в залежності від розміщення касет з балонами (рис. 2.10) отримає вигляд:

для трактора без ГБО:

$$G_T\bar{x} - R_\Pi L = 0 \tag{2.43}$$

$$R_З L - G_T(L - \bar{x}) = 0 \tag{2.44}$$

$$\beta_{lim\text{УХ}} = arctg\frac{0.5B(G_T+G_K+G_P)}{G_T h_{\text{ЦТ}}+G_K h'_{\text{ЦТк}}+G_P h_{\text{ЦТр}}} \tag{2.36}$$

при розміщенні касети з балонами по переду трактора:

$$G_T\bar{x} + G_K l'_{\text{ЦТк}} + G_P l_{\text{ЦТр}} - R_\Pi L = 0 \tag{2.45}$$

$$R_З L - G_T(L - \bar{x}) + G_K\left(l'_{\text{ЦТк}} - L\right) + G_P\left(l_{\text{ЦТр}} - L\right) = 0 \tag{2.46}$$

при розміщенні касети з балонами на даху кабіни трактора:

$$G_T\bar{x} + G_K l''_{\text{ЦТк}} - R_\Pi L = 0 \tag{2.47}$$

$$R_З L - G_T(L - \bar{x}) - G_K\left(L - l''_{\text{ЦТк}}\right) = 0 \tag{2.48}$$

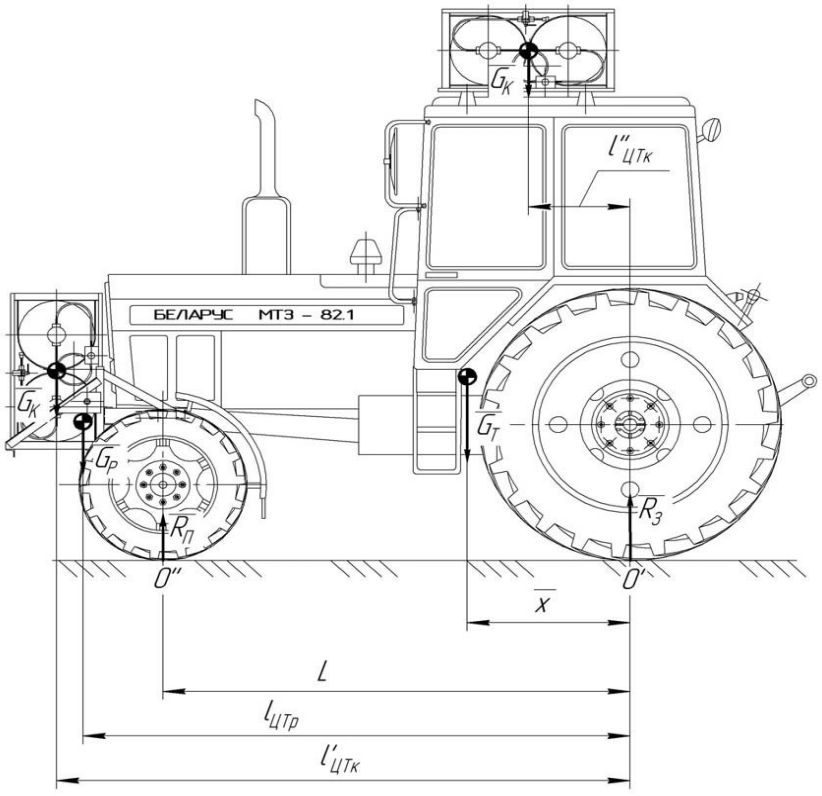


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема теоретичних досліджень зміни тягово-зчіпних показників трактора в результаті установки ГБО

Значення реакцій на опорних вісях визначимо за рівнянням:

– для трактора без ГБО:

$$R_{\text{П}} = \frac{G_T \bar{x}}{L} \tag{2.49}$$

$$R_{\text{З}} = \frac{G_T (L - \bar{x})}{L} \tag{2.50}$$

для трактора з балонами, розташованими попереду трактора:

$$R_{\text{П}} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{\text{ЦТк}} + G_P l_{\text{ЦТр}}}{L} \tag{2.51}$$

$$R_{\text{З}} = (G_T + G_K + G_P) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{\text{ЦТк}} + G_P l_{\text{ЦТр}}}{L} \tag{2.52}$$

для трактора з балонами, розташованими на даху кабіни:

$$R_{\text{П}} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{\text{ЦТк}}}{L} \tag{2.53}$$

$$R_{\text{З}} = (G_T + G_K) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{\text{ЦТк}}}{L} \tag{2.54}$$

Значення максимально допустимої сили тяги на одній із вісей трактора визначимо за рівнянням:

$$P_{K\varphi\text{г}} = Y_{\text{г}} \varphi \tag{2.55}$$

де φ - коефіцієнт зчеплення коліс з опорною поверхнею, поле після оранки φ =0,4; переліг φ =0,5, грунтова дорога φ =0,6 [21].

Скориставшись отриманими аналітичними залежностями виконано розрахунки буксування за різних умов експлуатації трактора з навісним та причіпним обладнанням. Результати досліджень зміни тягово-зчіпні показників трактора в результаті установки ГБО наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Теоретичні дослідження зміни коефіцієнта буксування, %

Компоновка	Сила тяги на гаку, кН						
	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Трактор без ГБО	1,4	2,7	4,1	5,4	6,65	8,1	12,4
Касета з балонами в передній частині трактора	1,3	2,55	3,9	5,1	6,4	7,7	8,96
Касета з балонами на даху кабіни трактора	1,3	2,5	3,8	5,1	6,4	7,7	9

2.6. Висновки

1. Запропонована касета з газовими балонами дозволяє оперативно здійснювати перезаправку трактора.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що розміщення касети з балонами не обмежує оглядовість трактора, знижує координату центра ваги трактора по вертикалі та зміщує його до передньої частини, що покращує керованість та зчеплення передніх ведучих коліс трактора.

3. За результатами проведеного розрахунку статичних граничних кутів стійкості трактора встановлено:

- граничний кут підйому – без ГБО $\alpha_{limПІД}$= 41,1°, з розміщенням балонів попереду трактора $\alpha_{limПІД}$= 39,8° і $\alpha_{limПІД}$= 37,3 ° за умови установки на даху кабіни.

- граничний кут на поздовжньому ухилі: трактор без ГБО $\alpha_{limУХ}$= 57°, з розміщенням балонів попереду трактора $\alpha_{limУХ}$= 55,8° і $\alpha_{limУХ}$= 54 ° за умови установки на даху кабіни.

- граничний поздовжній кут за поперечного ухилу: трактор без ГБО $\beta_{limУХ}$ = 35,4 °, з розміщенням балонів попереду трактора $\beta_{limУХ}$= 35,3 ° і $\beta_{limУХ}$ = 33,1 ° за умови установки на даху кабіни. Так розрахунками підтверджено ефективність розміщення касети з балонами в передній частині трактора.

4. Завдяки довантаженню передньої вісі трактора складовими ГБО коефіцієнт буксування трактора знизився на 3,5 %.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма досліджень

З метою перевірки та підтвердження результатів теоретичних досліджень розміщення балон на тракторі розроблено програму та методику експериментальних досліджень газобалонного трактора МТЗ-80.

Програма досліджень:

1. Дослідження ефективних методик заправки газобалонного трактора
2. Експлуатаційні дослідження газобалонного трактора
3. Експериментальні дослідження стійкості газобалонного трактора

Розробка методик та проведення експериментальних досліджень виконуємо за відомими методиками [28, 29].

3.2 Газобалонний трактор МТЗ-80

Наразі роботи з переведення сільськогосподарської техніки на газомоторне паливо перебувають на стадії наукових досліджень і створення дослідних зразків, які потребують конструкторського вдосконалення та проведення практичних випробувань. В якості об’єкта дослідження обрано трактор МТЗ-80 з розробленою системою розподіленої подачі газу та дизельного палива (рис. 3.1). Трактор за призначення відноситься до універсально-просапних з тяговим зусиллям 14 кН, завдяки повному приводу має хороші тягово-зчіпні властивості. В якості енергетичної установки використовується чотири циліндровий дизель Д-243 потужністю 59 кВт. Для роботи дизеля на двомоторному паливі необхідно реалізувати процес подачі дизеля та газу в необхідних пропорція встановлених попередньо проведеними дослідженнями [30, 31], а саме 30 % дизеля і 70 % метану в режимі повного завантаження газодизеля. В залежності від режиму завантаження двигуна

пропорція змінюється. Так зменшення навантаження на двигуні веде до зміни значення коефіцієнту надлишку повітря його кількість зростає, що зменшує повноту згорання паливо-повітряної суміші.

Рисунок 3.1 – Газобалонний трактор МТЗ-80

Для вирішення даної проблеми розроблено систему подачі газу, яка дозволить змінювати суміш, як кількісно так і якісно на різних режимах роботи газодизеля (рис. 3.2) [32]. Для роботи в газодизельному режимі штатний насос високого тиску ПНВТ 2 для подачі дизеля обладнується датчиком ВМТ за сигналами якого регулюється момент вприску стиснутого газу. Замість штатного регулятора на насосі встановлено електронний регулятор 5. Контроль за подачею дизеля здійснюється допомогою датчика переміщення рейки 6 за різних режимів роботи ДВЗ.

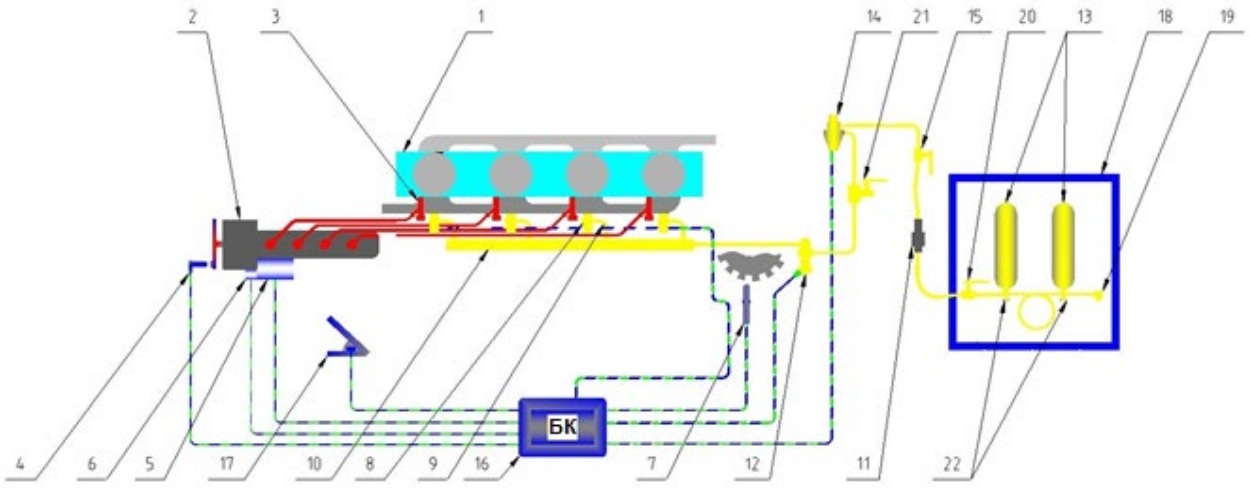


Рисунок 3.2 – Система регулювання подачі газу газодизеля Д-243:
1 – газодизель; 2 – ПНВТ дизельний паливний насос; 3 – форсунки подачі дизеля; 4 – датчик ВМТ; 5 – електричний регулятор; 6 – датчик переміщення рейки; 7 – індуктивний датчик обертів колінвалу; 8 – форсунки для подачі газу; 9 – газопровод; 10 – паливна рампа; 11 – з'єднувальна муфта; 12 – вимірювач тиску; 13 – балони для стиснутого газу; 14 – редуктор газовий; 15 – кран; 16 – блок керування БК системою подачі газу; 17 – електронна педаль; 18 – касета для балонів; 19 – штуцер для заправки газу; 20 – кран касетного модуля; 21 – кран зниження тиску газу; 22 –запірна арматура балонів

Частота обертів колінвалу ДВЗ контролюється індукційним датчиком 7, розміщеного в картері маховика. Контроль та подача газу здійснюється за алгоритмом прописаним в електронному блоці 16, який керує газовими форсунками 3 та регулятором 5 положення паливної рейки ПНВТ. Газ від паливної рампи 10 надходить до форсунок-змішувачів 8 і далі газоповітряна суміш подається до циліндрів згідно порядку роботи ДВЗ. Контроль тиску газу в паливній рейці здійснюється датчиком-манометром 12.

Використовуючи швидкороз'ємні з'єднання 11 та змінні касети з балонами 18 відбувається швидке перезаправлення трактора метаном. Високий тиск 20 МПа знижується до робочого 0,3..0,5 МПа за допомого понижаючого редуктора 14. Заправка касет здійснюється через запірну арматуру 22 та

приєднувальний штуцер 19. За розробленою схемою проведемо підбір та розробку необхідних її складових

Для подачі газу та змішування його з повітрям розроблено форсунки змішувачі конструкцію яких наведено на рисунку 3.3. форсунки змішувачі встановлюються між корпусом блока двигуна та впускним колектором. Змішування газу з повітрям відбувається з використанням ежекційних трубок.

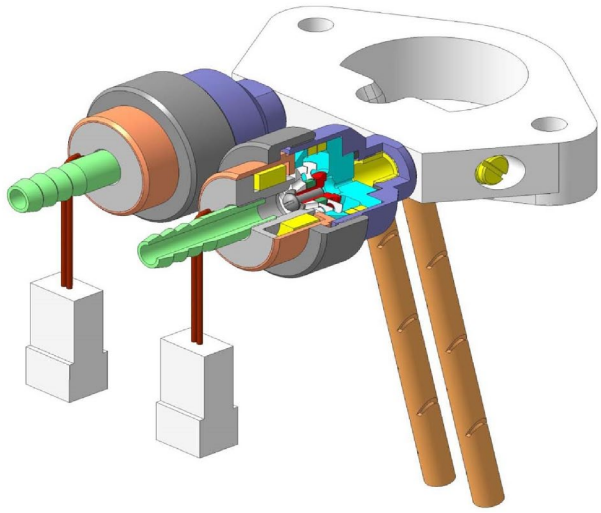


Рисунок 3.3 – Газові форсунки-змішувачі

Балони для системи підбираємо за ваговим коефіцієнтом в межах 0,65-0,78, робочим тиском 20 МПа, досить поширеної марки CNG2-G-406-100-20B з такими габаритно масовими показниками: діаметр – 0,4 м, довжина – 0,84 м та масо. – 49 кг (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 – Балони - CNG2-G-406-100-20B

Балони обладнано запірною арматурою вентилями компанії «ТОМАСЕТТО» (Італія) (рис. 3.5) призначені для виконання ремонтних робіт та операцій з обслговування ГБО.

Рисунок 3.5 –Запірний вентиль VMAT6702 з запобіжним клапаном

В якості заправного використано вентиль VMAT5412 (рис. 3.6) з зворотнім клапаном того ж виробника, що запірний вентиль.

Рисунок 3.6 – Заправний вентиль VMAT5412 з зворотнім клапаном

Швидка заміна касет з балонами відбувається завдяки швидкороз'ємним муфтам (рис. 3.7, а) із використанням поворотного крана високого тиску VM04 NGV2 (рис. 3.7, б).

а б

Рисунок 3.7 – Швидкороз'ємна муфта та кран високого тиску

В якості газового редуктора обрано Томасетто АТ-12 для двигунів з потужністю до 200 кВт (рис. 3.8). Основна його функція – це зниження високого тиску газу 20 МПа, що надходить від балонів до робочих показників 0,3…0,5 МПа. Детальна інформація по редуктору наведена в додатку В.

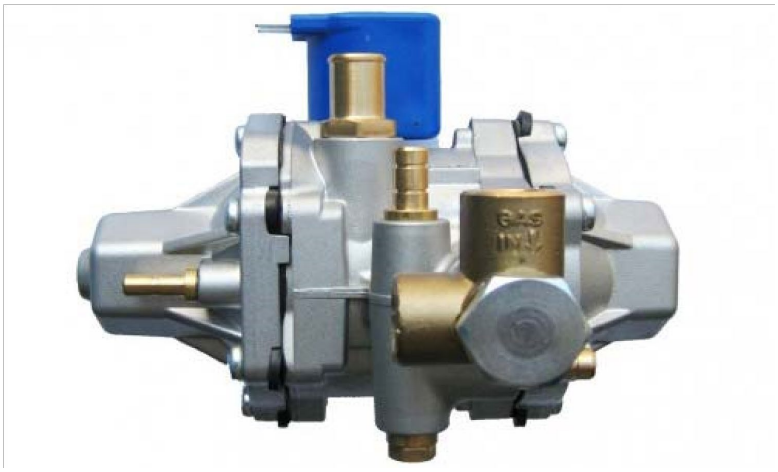


Рисунок 3.8 – Газовий редуктор Томасетто АТ-12

Керування редуктором здійснюється за допомогою штатного електронного блоку від компанії Digitronic (Італія) загальний вигляд якого представлено на рисункові 3.9. Живлення блока здійснюється від бортової мережі трактора напругою 12 В і потужністю 17 Вт. Використовуючи перемикач на блокові тракторист задає режим роботи дизель або газодизель.

Завдяки взаємодії блока з датчиками підтримується необхідний алгоритм роботи системи подачі газу та дизеля.

Рисунок 3.9 – Блок керування газодизелем

Інформація про тиск перед редуктором знімається датчиком тиску DIGITRONIC (рис. 3.10) та надходить до блока керування. Датчик налаштований на надійну роботу в діапазоні від 0 до 26 МПа напруга живлення 5В. Завдяки індикації на датчикові можливо відслідковувати поточні значення тиску в системі.

Рисунок 3.10 – Датчик тиску від компанії DIGITRONIC (Італія)

Задатчиком режиму роботи газодизеля являється електронна педаль (рис. 3.11) встановлена замість штатної. Система захисту від помилкових сигналів побудована на базі двох кутових датчиків положення.

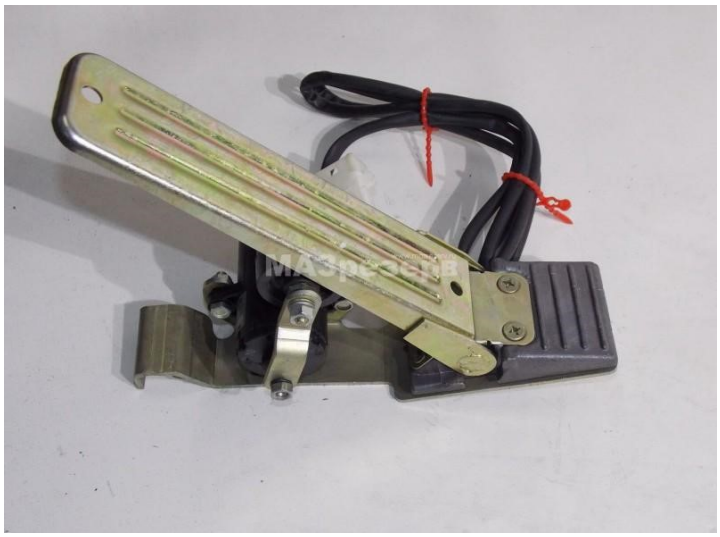


Рисунок 3.11 – Педаль електронна МАН

Датчик ВМТ розміщений на приводі паливного насоса ПНВТ дозволяє синхронізувати роботу системи живлення з робочим циклом двигуна та забезпечити точність подачі дизеля та газу (рис. 3.12).

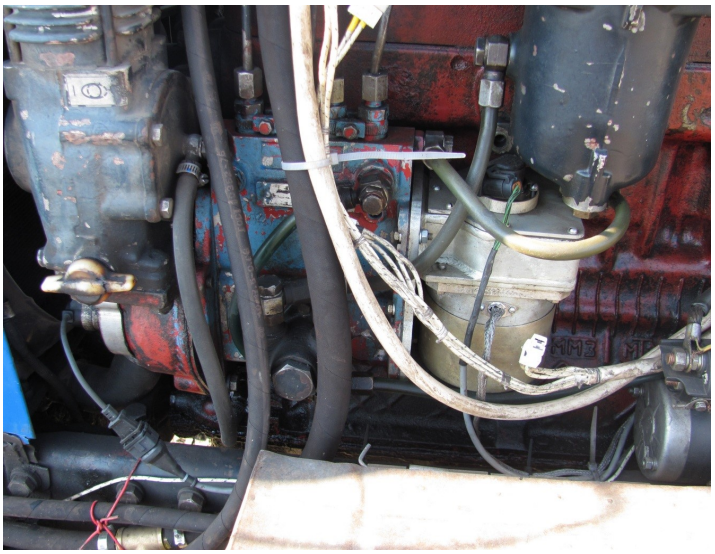


Рисунок 3.12 – Датчик ВМТ

Інформацію по бездротовій мережі блютуз можна передавати з електронного блока в реальному часі або з записом на носії, що дозволяє виконати аналіз роботи газодизеля на різних режимах використовуючи стандартні пакети діагностики роботи ДВЗ.

3.3 Дослідження ефективних способів заправки газобалонного трактора

В Дніпропетровській області розміщено близько 8 АГНКС. До найближчої з яких 30 км, що розміщена в місті Дніпро.

Врахувавши особливості експлуатації трактора МТЗ-80 для роботи його в газодизельному режимі необхідно 200 л газу за зміну тобто об'єм однієї перезаправної касети до складу якої входять два балона по 100 л. Отже використовувати самохідні паливозаправники для такого об'єму не ефективно тому найкращим варіантом на етапі впровадження газодизелів буде використання змінних касет, які раз в неділю будуть заправлятися на АГНСК в місті Дніпро. Для транспортування касет можливо використовувати для цього переобладнану вантажівку господарства, як показано на рисунку 3.13.

Рисунок 3.13 – Заправка касети з балонами

3.4 Методика та результати експлуатаційних досліджень газобалонного трактора на виконанні технологічних операцій

Експлуатаційні випробування в польових умовах проводилися на території ТОВ «Олдрідж Груп» на виконанні грунтообробних операцій в агрегаті удосконаленого трактора МТЗ-80 та комбінованого культиватора КП-4,2 «Степ» (рис. 3.14). Основні характеристики культиватора наведено в додатку Г

Рисунок 3.14 – Експериментальні польові дослідження МТА в складі МТЗ-80 та КП-4,2

Дослідження виконуємо на полі загальною площею 68 гектар. Основний тип грунту чорнозем. Основні вихідні параметри, що реєструємо в прокесі експерименту: довжина гону, м; значення тиску газу в системі (балонах), МПа; витрата дизеля, кг/год; глибина обробітку грунту, см; витрати газу $м^3$/год; час культивації гону t, с.

До додаткових параметрів можна віднести температуру охолоджуючої рідини ДВЗ, тиск в шинах, ширина захвату культиватора, масу МТА.

На початку вигріваємо двигун трактора до робочої температури. Грунтовий фон поля, стерня після зернових з ухилом горизонту не більше 1 градуса. Рух трактора здійснювався зі швидкістю вказаною заводом виробником грунтообробної техніки, яка становить 10-12 км/год

Результати проведених польових випробувань МТА наведено в таблиці 3.1. Графічна інтерпретація результатів досліджень газобалонного трактора в агрегаті з культиватором КП-4,2 представлена на рисунку 3.15

Таблиця 3.1 – Результати польових досліджень трактора МТЗ-82 в режимі дизеля та газодизеля на культивації

Показник	Значення	
	Дизель	Газодизель
Швидкість, км/ч	10-12	10-12
Масса трактора, кг	3620	3975
Витрата дизеля на культивації, кг/ч	11,45	4,35
Витрата газу «Метан» на культивації, $м^3$/ч	–	8,75
Витрата дизеля на переїздах в транспортном режимі, кг/ч	8,7	2,7
Витрата газу на переїздах в транспортном режимі, $м^3$/ч	–	6,4
Середня швидкість на транспортному режимі, км/ч	25	25
Кількість балонів, шт	–	2
Об’єм балона, л	–	100

Під час налаштування системи подачі газу трактора МТЗ-80 були визначені оптимальні коефіцієнти електронного ПІД-регулятора, що свідчить про успішне завершення налагодження системи.

Розроблена система регулювання подачі газу та дизеля в результаті проведених польових досліджень ефективно впоралася з роботою на різних режимах роботи газодизеля, що підтверджено результатами наведеними на рисунку 3.15., як в режимі дизеля так і в режимі газодизеля.

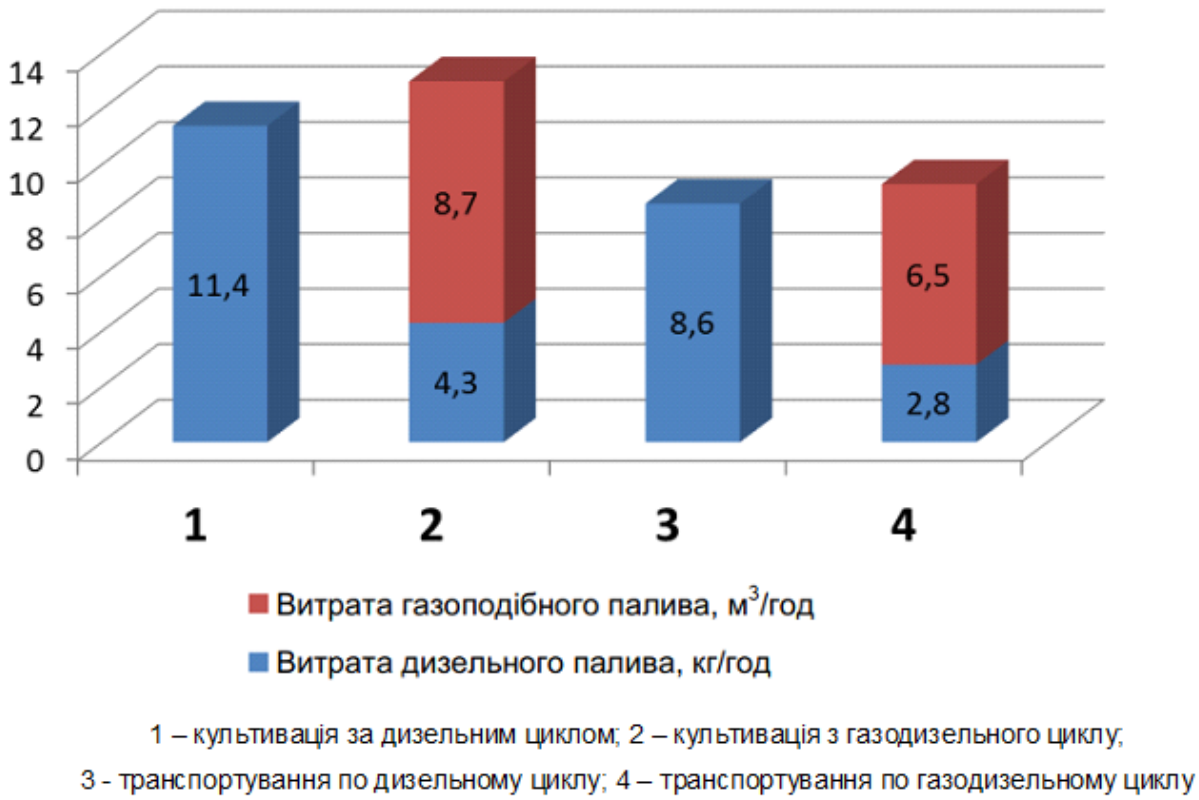


Рисунок 3.15 – Результати експереметальних досліджень роботи газобалонного трактора на різних режимах

3.5 Методика та результати експериментальних досліджень стійкості трактора

З метою оцінки впливу на стійкість трактора встановленого додаткового газового обладнання виконаємо серію досліджень з оцінки граничних статичних кутів поперечної та повздовжньої стійкості за загально прийнятою методикою [21].

Дослідження виконуємо з використанням опорної платформи розміром 3х6 м. Використовуючи кронштейни розміщені по кутам платформи та підйомний механізм вантажепідємністю 6 т встановлюємо необхідні зміщення трактора, як в повздовжній так і в поперечній площині. Дослідження виконуємо на сухій та чистій платформі за швидкості вітру не більше 4 м/с. Для імітації розміщення оператора на робочому місці встановлено вантаж масою 80 кг.

Надійна фіксація об’єкта дослідження виконана з використанням бічних упорних пристроїв з надійною фіксацією та противідкотних упорів. Рушії трактора загальмовані з використанням штатного стояночного тормозу та включеної першої пониженої передачі з ввімкненим переднім мостом. Фіксацію граничних кутів виконували в момент відриву коліс трактора від платформи. Завдяки страхувальним ланцюгам унеможливлювалося подальше перекидання трактора.

На рисунку 3.16 представлено визначення граничного кута на підйомі. За допомогою підйомного механізму 5 піднімали передню частину платформи 1, в момент відриву передніх коліс трактора виконували позначку з фіксацією поточного значення кута на щиті 7.

Дослідження виконували в трикратній повторності. Мінімальне значення кута приймалося, як оціночне.

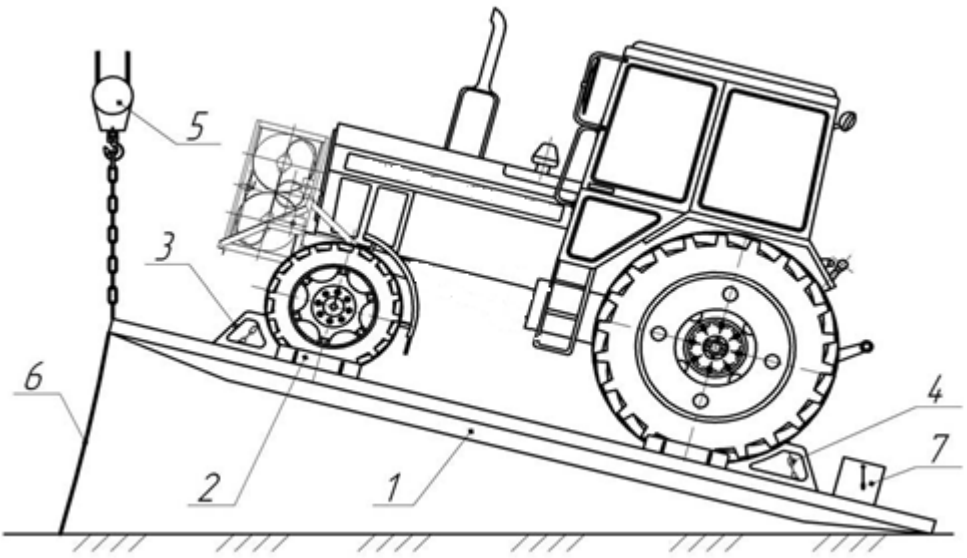


Рисунок 3.16 – Вплив газового обладнання на граничний статичний кут підйому трактора МТЗ-80

1 – опорна платформа; 2 – бічні опори; 3 – противідкотні упори; 4 – ланцюг страхувальник; 5 – підйомний механізм; 6 – страхування опорної платформи; 7 – індикатор кута підйому

За аналогічною методикою визначали і граничний статичний кут ухилу трактора при якому відбувається його перекидання вперед (рис. 3.17), та кут поперечної стійкості трактора (рис. 3.18)

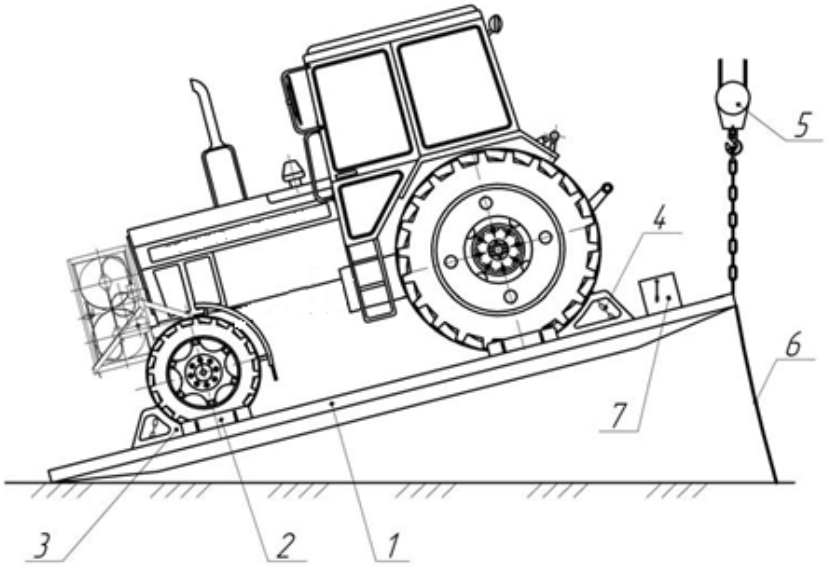


Рисунок 3.17 – Вплив газового обладнання на граничний статичний кут ухилу трактора МТЗ-80

1 – опорна платформа; 2 – бічні опори; 3 – противідкотні упори; 4 – ланцюг страхувальник; 5 – підйомний механізм; 6 – страхування опорної платформи; 7 – індикатор кута підйому

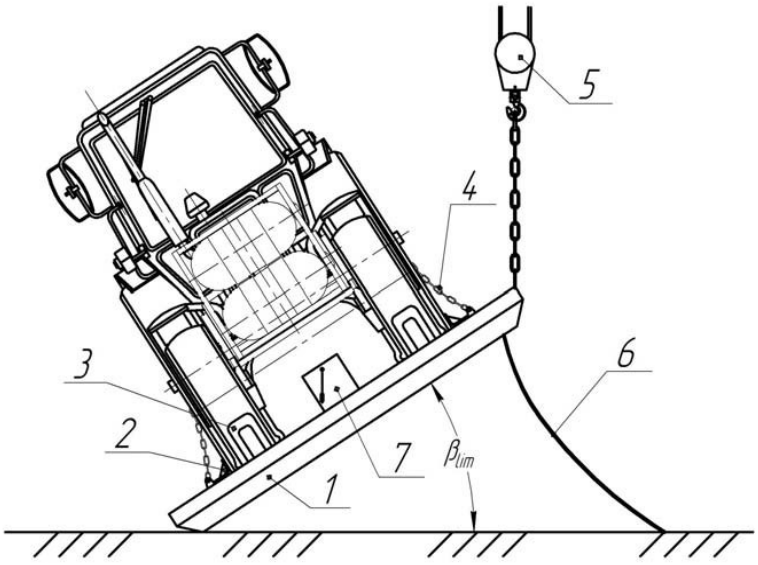


Рисунок 3.18 – Вплив газового обладнання на граничний статичний кут поперечного ухилу трактора МТЗ-80

1 – опорна платформа; 2 – бічні опори; 3 – противідкотні упори; 4 – ланцюг страхувальник; 5 – підйомний механізм; 6 – страхування опорної платформи; 7 – індикатор кута підйому

Результати виконаних експериментальних досліджень граничних статичних кутів стійкості трактора з газобалонним обладнанням наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень граничних статичних кутів стійкості газобалонного трактора МТЗ-80

Варіант		Граничні статичні кути		
		на підйомі $\alpha_{lim\,ПІД}$	на ухилі $\alpha_{limУХ}$	поперечної стійкості $\beta_{limУХ}$
Базовий	теор., град	40	57,5	35
	эксп., град	39	57	36
	Відх. δ, %	1,7	0,5	1,7
Експериментальний (з ГБО)	теор., град	43	56	35,3
	эксп., град	42	54	35
	Відх. δ, %	2,8	2,5	2,8

Відхилення показників граничного статичного кута стійкості трактора визначимо за формулою:

$$\delta = (\alpha_{\text{ТЕОР}} - \alpha_{\text{ЕКСП}})/\alpha_{\text{ТЕОР}} \cdot 100 \qquad (3.1)$$

де $\alpha_{\text{ТЕОР}}$ – теоретичне значення кута, °;

$\alpha_{\text{ЕКСП}}$ – експериментальне значення кута, °.

Використавши формулу 3.1 отримано значення розбіжностей теоретичних та експериментальних досліджень граничних статичних кутів стійкості трактора, що свідчать про адекватність запропонованої математичної моделі. Розбіжність не перевищує 2,8 %, що підтверджує адекватність математичної моделі.

3.6 Висновки

1. Запропонована та розроблена система живлення газодизеля забезпечила ефективну роботу на різних режимах експлуатації газобалонного трактора в агрегаті з сільськогосподарськими машинами.

2. На виконанні ґрунтообробних операцій газобалонним трактором в агрегаті з культиватором КП-4,2 витрата дизеля знизилася в 4,5 рази з 13,5 кг/год до 3,3 кг/ч шляхом заміщення його газоподібним паливом метаном.

3. Завдяки розміщенню газового обладнання в передній частині трактора значення граничних кутів стійкості трактора практично не змінилися. Розбіжність розрахункових та експериментальних значень кутів не перевищує 2,8 %, що підтверджує адекватність математичної моделі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні принципи організації охорони праці в господарстві

Для організації охорони праці в господарстві керівником визначається стратегія з розвитку та контролю основних виробничих підрозділів задіяних в процесі вирощування, підготовки, переробки та транспортування продукції виробництва.

Керівником господарства встановлюються правила, які регулюють всі аспекти роботи, пов'язані з охороною праці. Контроль за їх дотримання покладається на відповідальних за кожний підрозділ. Відповідно за рослинництво відповідає головний агроном, механізацію – головний інженер, за тік та олійницю відповідає завідуючий током.

В обов'язки відповідальних входить вчасне проведення інструктажів з працівниками та контроль дотримання охорони праці. Забезпечення безпечних умов роботи (вентиляція, освітлення, засоби захисту від травм чи опіків). Контроль за справністю обладнання (сушарки, транспортних системи, навантажувачів). Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту.

Для зниження травматизму та нещасних випадків в господарстві проводяться такі види інструктажів:

Вступний інструктаж – проводиться з особами, які щойно прийняті на роботу, незалежно від їхньої посади чи досвіду [30, 31].

Проводить: відповідальна особа за охорону праці в нашому випадку інженер з охорони праці. З записом в журналі реєстрації вступного інструктажу.

Первинний інструктаж – проводиться безпосередньо на робочому місці перед початком роботи. Проводить: безпосередній керівник робіт. Проводиться

для всіх працівників перед початком роботи, а також після переведення на нове робоче місце [30, 31].

Повторний інструктаж **–** проводиться для всіх працівників не рідше одного разу на пів року (або раз на три місяці для працівників з підвищеною небезпекою). Проводить: керівник або інженер з охорони праці. Документується в журналі реєстрації інструктажів [30, 31].

Позаплановий інструктаж **–** проводиться у випадках: впровадження нових технологій, обладнання або матеріалів; зміни умов праці чи технологічного процесу; виявлення порушень правил безпеки; нещасного випадку або аварійної ситуації. Проводить: безпосередній керівник робіт або особа, відповідальна за охорону праці [30, 31].

Цільовий інструктаж – проводиться для працівників перед виконанням разових або небезпечних робіт: роботи на висоті, з електрообладнанням, хімічними речовинами. Ліквідація наслідків аварій, стихійних лих. Проводить: керівник робіт або спеціаліст з охорони праці [30, 31].

Ведення документації. Кожен інструктаж фіксується в журналі реєстрації інструктажів із зазначенням дати, теми інструктажу, прізвища особи, яка проводила, та підписів працівників. Це дозволяє контролювати дотримання вимог охорони праці та забезпечити юридичний захист господарства у випадку нещасних випадків.

Дотримання цього порядку інструктажів є ключовою умовою безпечної роботи в господарстві та обов’язковою вимогою згідно з чинним законодавством.

Для всіх робочих місць господарства розроблено інструкції з охорони праці з якими можна ознайомитися на інформаційних стендах підрозділів. **Де** наведено чіткі інструкції для роботи з технікою, хімічними речовинами, тваринами, обладнанням тощо.

Інструкції містять правила безпеки, дії у разі аварійних ситуацій, порядок надання першої допомоги.

Інженером з охорони праці розробляються заходи з навчання працівників. Працівники отримують знання про безпечну експлуатацію техніки, роботу з небезпечними речовинами та обладнанням.

З метою зниження травматизму та нещасних випадків постійно здійснюється контроль за технічним станом обладнання а саме:

- - регулярний огляд і технічне обслуговування сільськогосподарської техніки та інструментів.
- - виявлення та усунення несправностей, які можуть загрожувати безпеці працівників.

Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Працівники забезпечуються відповідним спецодягом, рукавицями, захисними окулярами, респіраторами, шоломами тощо.
- ЗІЗ повинні відповідати стандартам і бути доступними для всіх працівників.

Оцінка ризиків і контроль умов праці:

- Визначаються потенційно небезпечні фактори на робочих місцях, такі як шум, вібрація, шкідливі хімічні речовини.
- Проводяться заміри параметрів (температури, рівня освітлення, токсичних речовин) та вживаються заходи для їх нормалізації.

Організація медичних оглядів:

- Забезпечується проведення періодичних медичних оглядів працівників для виявлення професійних захворювань та контролю стану здоров'я.

Підготовка до надзвичайних ситуацій:

- Розробляються плани дій у разі пожеж, аварій, нещасних випадків.

- Працівники мають знати порядок евакуації, надання першої допомоги та повідомлення про надзвичайні події.

Моніторинг і вдосконалення системи охорони праці:

- Регулярно проводиться оцінка ефективності заходів з охорони праці.
- Вносяться корективи на основі аналізу аварій, травм або небезпечних ситуацій.

4.2 Вимоги з охорони праці під час експлуатації тракторів з ГБО

Загальні вимоги

До роботи з тракторами на метані допускаються лише працівники, які пройшли навчання, інструктажі з охорони праці та мають відповідний допуск. Працівники повинні знати фізико-хімічні властивості метану, включаючи його вибухонебезпечність і ризики при витоках. Використовуються лише сертифіковані машини та обладнання, що відповідають чинним стандартам безпеки.

Вимоги до технічного стану

Перед початком роботи проводиться огляд технічного стану трактора, особливо системи подачі та зберігання метану (балони, трубопроводи, клапани).Забороняється експлуатація трактора за наявності витоків газу або несправностей у системі паливоподачі.Балони для зберігання метану повинні проходити регулярний технічний огляд і гідравлічні випробування відповідно до встановлених норм.

Заправка метаном

Заправка трактора здійснюється лише на спеціалізованих газонаповнювальних станціях. Під час заправки заборонено курити, використовувати відкритий вогонь або електрообладнання, що може спричинити іскру. Місце заправки має бути оснащене засобами пожежогасіння, такими як вогнегасники або стаціонарні системи пожежного захисту.

Організація робочого місця

Експлуатація трактора на метані дозволена лише в добре провітрюваних місцях для уникнення накопичення газу у разі витоку. Забороняється залишати трактор у закритих приміщеннях без вентиляції або обладнання для виведення відпрацьованих газів. Поблизу місць зберігання метану встановлюються попереджувальні знаки «Обережно! Газ», «Вогненебезпечно» тощо.

Вимоги до працівників

Працівники повинні носити засоби індивідуального захисту (рукавиці, спецодяг), а в разі аварійної ситуації – захисні маски. Забороняється використання трактора, якщо водій перебуває в стані втоми, алкогольного або наркотичного сп’яніння.

Дії в аварійних ситуаціях

У разі витоку газу необхідно негайно зупинити роботу трактора, перекрити подачу палива і повідомити керівника. Забезпечити евакуацію працівників із небезпечної зони, за необхідності викликати пожежно-рятувальну службу. Використовувати лише сертифіковані засоби пожежогасіння для гасіння можливого загоряння метану.

Профілактичні заходи

Проводити регулярне навчання та перевірку знань правил безпеки для водіїв і технічного персоналу. Виконувати технічне обслуговування системи подачі газу та двигуна відповідно до інструкцій виробника. Забезпечити постійний контроль за станом обладнання для мінімізації ризиків аварій.

Документація

Усі роботи з експлуатації тракторів на метані документуються. Працівники зобов'язані фіксувати результати перевірок обладнання та технічного обслуговування.

Дотримання цих вимог забезпечує безпечну експлуатацію тракторів на метані, зменшує ризик аварійних ситуацій і сприяє збереженню життя та здоров'я працівників.

4.3 Заходи безпеки в випадку виникнення пожежі на території машино-тракторного парку

Пожежа є однією з найбільш небезпечних надзвичайних ситуацій, яка загрожує життю, здоров'ю людей і майну. Швидка реакція та дотримання правил безпеки допомагають мінімізувати наслідки пожежі.

Машино-тракторний двір є об'єктом підвищеної пожежної небезпеки через наявність паливно-мастильних матеріалів, техніки та електрообладнання. У разі виникнення пожежі необхідно діяти швидко та організовано, щоб мінімізувати ризики для людей і майна.

Розглянемо послідовність дій працівників в наслідку виникнення пожежі на території машино-тракторного парку:

Оповіщення про пожежу

Негайно повідомити всіх працівників машино-тракторного двору та керівництво про пожежу.

Викликати пожежну службу та службу порятунку за номером 101.

Чітко надати інформацію про місце займання, характер пожежі та можливу небезпеку.

Евакуація людей

Організувати швидке виведення працівників із зони пожежі.

Вивести техніку, яка не задіяна у пожежі, у безпечне місце, якщо це можливо без ризику для життя.

Допомогти працівникам, які можуть потребувати підтримки.

Використання засобів пожежогасіння

Використовувати вогнегасники, які мають бути розміщені в легкодоступних місцях на території двору:

Порошкові вогнегасники — для гасіння горючих рідин і твердих матеріалів.

Вуглекислотні вогнегасники — для електрообладнання.

Якщо пожежа невелика, спробувати локалізувати вогонь за допомогою піску, землі або протипожежного покривала.

Забороняється гасити пальне водою, оскільки це може спричинити поширення полум’я.

Вимкнення джерел живлення

Знеструмити електрообладнання та відключити живлення всієї техніки, яка знаходиться у зоні пожежі.

Перекрити подачу палива до стаціонарних систем і агрегатів, якщо це можливо зробити без ризику для життя.

Дії в разі поширення вогню

У разі неконтрольованого поширення пожежі вжити заходів для обмеження доступу до небезпечної зони.

Забезпечити, щоб усі працівники перебували на безпечній відстані від місця займання.

Надання першої допомоги

У разі травм або опіків негайно надати постраждалим першу допомогу:

Охолодити обпечену ділянку шкіри чистою водою.

У разі отруєння димом вивести постраждалого на свіже повітря.

Викликати медичну допомогу.

Взаємодія з пожежно-рятувальною службою

Зустріти пожежних, надати їм інформацію про місце займання, можливу небезпеку (наявність паливно-мастильних матеріалів, вибухонебезпечних речовин).

Забезпечити вільний доступ до вододжерел і місця пожежі.

4.4. Висновки

Розроблені інструкції при експлуатації газобалонних тракторів та при виникненні пожеж дозволять мінімізувати ризики під час експлуатації техніки та в результаті пожежі на машино-тракторному дворі. Організовані дії, забезпечення протипожежного обладнання та регулярне навчання персоналу — ключові елементи для збереження життя людей і майна.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Переведення тракторів на роботу за газодизельним циклом є одним із способів підвищення економічної ефективності їх експлуатації. Це обумовлено можливістю використання метану як альтернативного палива для заміщення частини дизельного пального нафтового походження.

Газодизельний двигун Д-243М трактора МТЗ-80 працює на суміші дизельного пального та метану, де 70% дизеля заміщується газом.

У процесі роботи частка метану в паливній суміші залежить від режиму навантаження, що забезпечує ефективне згоряння пального. Для встановлення економічного ефекту від заміщення палива стисненим газом виконаємо розрахунок за двома варіантами [33]: базового з використанням тільки дизеля та проектного з заміщенням 70 % дизельного палива метаном. Розрахунок виконуємо для об'єкта модернізації трактора МТЗ-80 що має річний наробіток 800 мото-год.

Робота на дизелі:

Витрати дизельного пального на 1 мото-годину

$$Вдм = Впд \cdot Зд = 18 \cdot 48 = 864 \text{ грн/год} \quad (5.1)$$

де Зд – вартість дизеля (станом на 2024 р.: 48 грн/кг;

Впд – витрати дизельного палива на оранці становлять 18 кг/год.

Врахувавши річний наробіток трактора Т =800 мото-год загальні витрати на дизельне пальне становитимуть:

$$Взд = Вдм \cdot Т = 864 \cdot 800 = 691200 \text{грн} \quad (5.2)$$

Робота за газодизелним циклом:

Витрати пального на 1 мото-годину:

$$Вгдм = 0{,}3 \cdot (Впд \cdot Зд) + (Впг \cdot Зг) \quad (5.3)$$

де Зг – вартість метану, станом на 2024 рік, 28 грн/м^3;

Впг – витрати газового палива на оранці становлять 14 м^3/год.

$$Вгдм = 0{,}3 \cdot 18 \cdot 48 + (14 \cdot 28) = 651{,}2 \text{ грн/год}$$

Врахувавши річний наробіток трактора загальні витрати на пальне становитимуть:

$$Взгд = Вгдм \cdot Т = 651{,}2 \cdot 800 = 520960 \text{ грн} \quad (5.4)$$

Загальна економія від заміщення дизеля становитиме:

$$Еп = Взд - Взгд = 691200 - 520960 = 170240 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Витрати на переобладнання техніки

Вартість обладнання для переведення трактора МТЗ-80 з двигуном Д-243 становить для роботи за газодизельним циклом склала 90 тис. грн. Обладнання встановлено кваліфікованими працівниками з сертефікацією. Вартість установки та налагодження склала 25 тис. грн

Загальні інвестиції $B_{інв}$ в модернізацію трактора визначимо за формулою:

$$В_{інв} = В_{ГБО} + В_{УН} = 90000 + 25000 = 115000 \text{ грн} \quad (5.6)$$

де $В_{ГБО}$ – вартість газобалонного обладнання, грн;

$В_{УН}$ – вартість встановлення обладнання та сертифікації техніки, грн.

Врахувавши отримані показники ефективності та інвестицій визначимо термін окупності модернізації трактора МТЗ-80 за формулою:

$$Ток = \frac{В_{інв}}{Еп} = \frac{115000}{170240} = 0{,}67 \text{ року} \quad (5.7)$$

Результати розрахунку зведено в таблицю 5.1

Таблиця 5.1 – Економічний ефект модернізації трактора МТЗ-80

Показники	Варіанти		Проектний варіант (+/-) до базового
	Базовий МТЗ-80	Проектний МТЗ-80М	
Річна завантаженість трактора, мото-год	800	800	-
Вартість дизельного палива, грн/кг	48	48	-
Вартість метану, грн/м^3	-	28	-
Витрати дизеля, кг/год	18	6	-12
Витрати СПГ «Метан», м^3/год	-	14	14
Загальні витрати на дизельне паливо, грн/рік	691200	207360	-483840
Загальні витрати на СПГ «Метан» та дизель грн/рік	-	313600	313600
Загальні витрати на паливо, грн/рік	691200	520960	-170240
Інвестицію в модернізацію трактора, грн	-	115000	115000
Економічний ефект проекту, грн/рік	170240		
Термін окупності проекту, років	0,67		

Висновки:

За результатами проведеного розрахунку встановлено економічну ефективність запропонованої модернізації тракторів марки МТЗ-80 шляхом переведення дизельних двигунів Д-243 на роботу за газодизельним циклом. Заміщення частини дизельного палива до 70 % більш дешевим газоподібним метаном дозволило отримати економічний ефект в розмірі 170240 грн/рік, при цьому термін окупності склав 0,67 року.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Підвищити ефективність механізованих робіт можливо шляхом переведення енергетичних засобів тракторів на більш дешеве паливо не нафтового походження наприклад стиснений природній газ. В результаті проведеного аналізу досліджень експлуатації техніки заміщенням дизельного палива газоподібним метаном зниження експлуатаційних витрат становить близько 30 % при цьому окупність проведеної конверсії коливається від року до двох в залежності від завантаження техніки протягом року.

Вирішити питання заправки техніки можливо використовуючи мобільні газозаправники. Також можливо укладення договорів з АГНКС що надають послуги мобільної заправки техніки.

За результатами проведеного аналізу відсутня інформація по теоретичному дослідженню ефективності розміщення балонів для зберігання стиснутого природнього газу на базі універсально-просапних тракторів тягового класу 14 кН.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- встановлено, що розміщення касети з балонами не обмежує оглядовість трактора, знижує координату центра ваги трактора по вертикалі та зміщує його до передньої частини, що покращує керованість та зчеплення передніх ведучих коліс трактора.

- отримано значення граничних кутів стійкості трактора а саме:

- граничний кут підйому – без ГБО $\alpha_{limПІД}$= 41,1°, з розміщенням балонів попереду трактора $\alpha_{limПІД}$= 39,8° і $\alpha_{limПІД}$= 37,3 ° за умови установки на даху кабіни.

- граничний кут на поздовжньому ухилі: трактор без ГБО $\alpha_{limУХ}$= 57°, з розміщенням балонів попереду трактора $\alpha_{limУХ}$= 55,8° і $\alpha_{limУХ}$= 54 ° за умови установки на даху кабіни.

- граничний поздовжній кут за поперечного ухилу: трактор без ГБО $\beta_{limУХ}$ = 35,4 °, з розміщенням балонів попереду трактора $\beta_{limУХ}$= 35,3 ° і $\beta_{limУХ}$ = 33,1 ° за умови установки на даху кабіни. Так розрахунками підтверджено ефективність розміщення касети з балонами в передній частині трактора.

- встановлено, що завдяки довантаженню передньої вісі трактора складовими ГБО коефіцієнт буксування трактора знизився на 3,5 %.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- встановлено, що запропонована та розроблена система живлення газодизеля забезпечила ефективну роботу на різних режимах експлуатації газобалонного трактора в агрегаті з сільськогосподарськими машинами.

- встановлено, що на виконанні ґрунтообробних операцій газобалонним трактором в агрегаті з культиватором КП-4,2 витрата дизеля знизилася в 4,5 рази з 13,5 кг/год до 3,3 кг/ч шляхом заміщення його газоподібним паливом метаном.

- встановлено, що завдяки розміщенню газового обладнання в передній частині трактора значення граничних кутів стійкості трактора практично не змінилися. Розбіжність розрахункових та експериментальних значень кутів не перевищує 2,8 %, що підтверджує адекватність математичної моделі.

4. Розроблені інструкції при експлуатації газобалонних тракторів та при виникненні пожеж дозволять мінімізувати ризики під час експлуатації техніки та в результаті пожежі на машино-тракторному дворі. Організовані дії, забезпечення протипожежного обладнання та регулярне навчання персоналу — ключові елементи для збереження життя людей і майна.

5. За результатами проведеного розрахунку встановлено економічну ефективність запропонованої модернізації тракторів марки МТЗ-80 шляхом переведення дизельних двигунів Д-243 на роботу за газодизельним циклом. Заміщення частини дизельного палива до 70 % більш дешевим газоподібним метаном дозволило отримати економічний ефект в розмірі 170240 грн/рік, при цьому термін окупності склав 0,67 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улексін В.О. Робота автотракторних дизелів на газі / Улексін В.О, Бабич А.С., Кухаренко П.М. – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2006. – 126с.

2. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-2006-%D1%80#Text

3. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яцковський, І. В. Гунько, О. В. Гуцаленко. – Вінниця : РВВ ВНАУ, 2016. – 132 с.

4. Кухаренко П.М. Особливості застосування газоподібного палива на сільськогосподарських тракторах. ./Праці ТДАА, т.17, вип. 2. Мелітополь, 2001. С. 107-113.

5. Колодочка, В. В. Використання газоподібного палива в тракторних двигунах сільськогосподарського призначення / В. В. Колодочка, Н. В. Осавул // Вісник СНАУ. - 2012. - № 12. - С. 54–57

6. Колодочка, В. В. Обґрунтування зниження нерівномірності подачі газу в циліндри двигуна при роботі з газодизельним циклом / В. В. Колодочка, Н. В. Осавул // Науковий огляд. – 2012. – № 5. – С. 41–43.

7. Газобалонный трактор./Н.Е.Основенко,Ю.В.Сиянко,А.Е.Попов, А.Е.Глеза // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1992, № 10-11. С.25 – 27.

8. Газобаллонные автомобили: Справочник/А.И. Морев, В.И. Ерохов, Б.А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.

9. Газобалонный трактор./Н.Е.Основенко,Ю.В.Сиянко,А.Е.Попов, А.Е.Глеза // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1992, № 10-11. С.25 – 27.

10. Володін, В. В. Обґрунтування розташування газових балонів трактора МТЗ-80 під час роботи в газодизельному циклі / В. В. Володін, Н. А. Чєльцов // Аграрний науковий журнал. – 2015. – № 7. – С. 48–51.

11. Коцар, Ю. А. Визначення компунувальної схеми трактора РТМ-160, що працює за газодизельним циклом / Ю. А. Коцар, Б. П. Загородських, В. В. Володін, // Проблеми економічності та експлуатації двигунів внутрішнього згоряння: матеріали міждерж. наук.-техн. семінару. – Кіровоград, 2010. – С. 41–44.

12. Газобалонне обладнання. – К. Вид. «Моноліт». – 2020. С. 78

13. Г.А. Вершина, О. С. Быстренков. Способы организации рабочего процесса газодизельного двигателя. Г. Наука и техника. – БНТУ. – 2017. – №17. С.383-389

12. Б. С. Маріянко. Дослідження впливу на показники газодизеля вдосконалення системи живлення застосуванням газовипускного пристрою. Наукові праці ВНТУ. – 2014, № 2. – С. 24-29

13. https://www.compressionsource.com/listings/5762938-used-fuelmaker-fmq-8-36-cng-compressor-sn-d00314d

14. Васільєв, Ю. М. Газозаправка транспорту / Ю. М. Васильєв, О. І. Гриценко. - К.: Надра, 1995. - 447 с.15.

16. http://autometan.com.ua/products/pagz3000/

17. https://www.researchgate.net/figure/Equipment-for-mobile-CNG-stations-a-mobile-methane-refueling-b-CNG-cylinders-for-CNG_fig2_291824087

18. https://kievspecteh.com/catalog/traktory/traktor-belarus-821

19. https://mtz.ua//13-rukovodstva/48-belarus-80-1-82-1-820

20. Трактори Білорусь сімейств МТЗ та ЮМЗ. Посібник з будови, роботи та технічного обслуговування трактора. – Київ: Ранок, 2018. – 187 с.

21. Основи теорії та розрахунку трактора і автомобіля [Текст] : курс лекцій для студ. за напрямом підгот. 6.100102 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / П. К. Охмат, В. І. Мельниченко ; Дніпропетровський держ. аграрний ун-т. Кафедра "Трактори та автомобілі". - Д. : [ЕНЕМ], 2009. - 319 с.

22. Russini A., Schlosser J. F., Farias M. S. Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric tests. Cienc. Rural vol. 48 no. 4 Santa Maria, 2018. Epub Apr. 16, 2018. DOI: 10.1590/0103- 8478cr20170532

23. Зріджений природний газ. Фізико-хімічні, енергетичні та експлуатаційні властивості: Довідник / за ред. І. Л. Ходоркова. - СПб.: ЗАТ "Кріонорд". - Хіміздат, 2003. - 64 с.

24. Гусак, В. В. Трактори: Теорія / В. В. Гусак, Н. Н. Акуліч [та ін]. - Мінськ.: Машинобудування. - 2008. - 376 с.

25. Скотников, В. А. Основи теорії та розрахунку трактора та автомобіля / В. А. Скотников, А. А. Мащенський, А. С. Солонський; за ред. В. А. Скотникова. -М.: Агропромиздат, 1986. - 383 с.

26. Безп'ятий, Ф. С. Конструкція, основи теорії та розрахунок трактора / Ф. С. Безп'ятий, І. Ф. Троян. - К.: Машинобудування, 2010. - 502 с

27. Гінзбург, Ю. В. Промислові трактори / Ю. В. Гінзбург, А. І. Швед. - К.: Машинобудування, 1986. - 296 с.

28. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.

29. Данильян О.Г. Методологія наукових досліджень. Право. 2019. 368 с.

30. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.

31. «Закон України «Про охорону праці». №2695-XII закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.

32. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ., 2005.

33. Черниш С.С.. Економічний аналіз. - К: видавничий центр учбової літератури, 2010. – 313 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічна характеристика балонів Балони - CNG2-G-406-100-20B

- Об'єм: 100 літрів
- Зовнішній діаметр: 406 мм
- Довжина: 840 мм
- Вага: 49 кг
- Робочий тиск: 20 МПа (200 бар)
- Випробувальний тиск: 30 МПа (300 бар)
- Мінімальний розривний тиск: 55 МПа (550 бар)
- Матеріал: Сталь зі скловолоконною обмоткою
- Робоча температура: від -45°C до +65°C
- Періодичність огляду: кожні 3 роки
- Термін служби: 15 років
-

Особливості:

- Балон витримує без руйнування постріл кулею калібру 7,62 мм.
- Стійкий до відкритого полум'я в заправленому стані за наявності в системі запобіжного пристрою для скидання тиску.

Застосування:

Балони типу CNG-2 широко використовуються в автомобільній промисловості для зберігання стисненого природного газу, забезпечуючи безпечну та ефективну експлуатацію газобалонного обладнання.

Додаток Б

Технічні характеристики ПАГЗ на базі автопоїздів МАЗ та КрАЗ

Параметр	КрАЗ+ п/п 9370- 01	КрАЗ+ п/п 9385	МАЗ-54323 + п/п МАЗ-9397	МАЗ-64227 п/п МАЗ-9389
Колісная формула	6×4+2	6×4+2	4×2+2	6×4+3
Навантаження на зчіпному пристрої, кН (кгс)	79,4 (8100)	107,8 (11100)	86,2 (8800)	144 (14700)
Повна маса, кг:				
напівпричепа	19100	26000	26800	38700**
автопоїзда	26125	33325	34000	48000*
Маса балонів з газом, кг	14500	20500	20100	32700
Габаритні розміри, мм:				
тягача	6180×2500×2830	6180×2500×2830	5980×2500×3550	6570×2500×3550
напівпричепа	9400×2500×2040	10390×2500×2 090	11455×2500×145	12325×2500×495

Примітка: п/п – напівпричіп;

Додаток В

Характеристика газового редуктора Томасетто АТ-12

- Газ Метан (CNG)
- Покоління ГБО 4
- Модель АТ-12
- Артикул RMAT3800
- Діапазон потужності До 250 кінських сил (185 кВ)
- Фільтр на вході Повстяний
- Кількість ступенів 2
- Габаритний розмір 120x145x155
- Вага 1,5 кг
- Корпус Алюміній
- Котушка 12 Вольт
- Потужність котушки 17 Ватт
- Максимальний тиск на вході 26 МПа
- Вхід газу Під сталеву трубку D6 M12x1
- Вихід газу 12,5 мм
- Підігрів редуктора 8 мм
- Штуцер вакуумний 5 мм
- Пропускна здатність 35 кг/год.
- Сертифікати R110, ISO15500
- Виробник Tomasetto Achille
- Країна Італія
- Гарантія 12 місяців

Додаток Г
Характеристика культиватора КП-4,2 «Степ»

Культиватор «СТЕП КП 4,2» призначений для суцільної обробки ґрунту, передпосівної підготовки та культивації парових ділянок. Він забезпечує якісне розпушування, вирівнювання та підрізання бур'янів.

Технічні характеристики:

- **Ширина захвату:** 4,2 метра
- **Глибина обробки:** від 5 до 12 см
- **Кількість робочих органів:** залежить від комплектації
- **Вага:** 900 кг
- **Необхідна потужність трактора:** 80–100 к.с.
- **Тип агрегатування:** причіпний

Особливості конструкції:

- Рама культиватора забезпечує рівномірну обробку ґрунту на задану глибину.
- Робочі органи розташовані таким чином, щоб уникнути забивання рослинними залишками.
- Пружинні механізми на робочих органах захищають від пошкоджень при зіткненні з перешкодами.
- Вирівнювальна планка та пружинна гребінка забезпечують додаткове розпушування та вирівнювання поверхні ґрунту.