

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ 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 дипломного проекту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності використання газобалонних тракторів шляхом
розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном**

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-1-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Мандур Ігор Андрійович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро – 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСТМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«___» _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Мандуру Ігору Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном

керівник роботи Бойко Владислав Борисович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«7» травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом роботи 11.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту Наукові розробки кафедри по конвертації дизелів, патенти та наукові звіти. Дані господарської діяльності агропідприємства, довідкові дані за обраною темою

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз господарської діяльності. 2. Технологічна частина. 3. Конструктивно-технологічні розрахунки. 4. Охорона праці та навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проекту. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Об'єкт удосконалення (A1). 2. Аналіз способів розміщення балонів (A1).
3. Конструктивна схема (A1). 4. Складальне креслення (A1). 5. Деталювання (A1). 6. Економічні показники проекту (A1).

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання: 2.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	27.03.25-2.04.25	
2	Технологічний	2.04.25-14.04.25	
3	Конструкційний	14.04.25-10.05.25	
4	Охорона праці	10.05.25- 16.05.25	
5	Економічний	22.05.25-29.05.25	
6	Графічна частина	29.05.25-11.06.25	

Студент

_____ (підпис)

Мандур І.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бойко В.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мандур І.А. Підвищення ефективності використання газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності використання газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном.

Запропоноване конструктивне рішення скоротить час заправки газодизелів та дозволить реалізувати експлуатацію газодизелів за умови відсутності поруч з господарством газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС)

В першому розділі проведено аналіз діяльності господарства а саме його розташування, напрямок діяльності, рівень механізації та економічна ефективність.

В другому розділі проведено аналіз процесу заправки стисненим газом техніки та запропоновано спосіб заправки газодизельних тракторів з використанням змінних касет.

В третьому розділі проведено розрахунки запропонованої конструкції касети на міцність та вплив її розміщення на стійкість трактора.

Розглянуто питання з охорони праці при експлуатації газодизельних тракторів в агрегаті з сільськогосподарськими машинами.

Виконано економічне обґрунтування запропонованого конструктивного рішення.

Ключові слова: газодизельні трактори, стиснений газ, граничні кути стійкості, касета з балонами

ЗМІСТ

ВСТУП	8
Розділ 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	10
1.1 Характеристика господарства	10
1.2 Аналіз природно-кліматичних умов	10
1.3 Характеристика рослинної галузі	11
1.4 Рівень механізації господарства	13
1.5 Економічні показники	16
1.6 Висновки	19
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	20
2.1 Цілі та завдання дипломного проектування	20
2.2 Об'єкт модернізації	21
2.3 Особливості конверсії тракторів для роботи за газодизельним циклом	25
2.4 Аналіз способів заправки енергетичних засобів метаном	27
2.5 Аналіз основних способів розміщення балонів	34
2.6 Особливості конструкції та експлуатації балонів для стиснутого природнього газу	38
2.7 Висновки	39
Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	35
3.1 Конструктивна схема системи живлення газодизельного трактора МТЗ-82.1	41
3.2 Розробка касети для швидкої заправки метаном	42
3.3 Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів касети	44
3.4 Розрахунок граничних статичних кутів стійкості газобалонного трактора	51
3.5 Розрахунок на міцність елементів касети	57
3.6 Висновки	58

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	59
4.1 Аналіз стану з охорони праці в господарстві	59
4.2 Заходи по поліпшенню умов праці в господарстві	61
4.3 Охорона праці при експлуатації газодизельних тракторів з касетами для заправки	62
4.4 Захист навколишнього середовища при експлуатації газодизельних тракторів	64
4.5 Висновки	66
Розділ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ	67
5.1 Економічні розрахунки ефективності виконаного удосконалення	67
5.2 Висновки	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
ЛІТЕРАТУРА	73
ДОДАТКИ	76

ВСТУП

На сьогоднішній день у механізації сільського господарства України існують дві основні проблеми, вирішення яких необхідне для підвищення ефективності виробництва. Перша проблема стосується оптимізації використання потужності енергетичних засобів, що в основному досягається шляхом збільшення швидкості руху машино-тракторних агрегатів (МТА). Однак підвищення швидкісних режимів МТА супроводжується зростанням динамічних навантажень, що, у свою чергу, призводить до збільшення витрат палива та енерговитрат під час виконання технологічних операцій.

Друга проблема пов'язана зі скороченням запасів палива, що отримується через переробку нафти. Пошук альтернативних джерел енергозабезпечення стимулює використання дешевших газоподібних палив, зокрема метану, для енергетичних засобів [1]. Використання метану має певні недоліки, такі як низька енергощільність газобалонних установок, необхідність будівництва спеціальної інфраструктури для заправки, збільшення маси енергетичних засобів, підвищена трудомісткість технічного обслуговування та ремонту системи живлення, а також зниження потужності двигуна на 15-20%. Проте до переваг використання природного газу можна віднести: подовження терміну служби моторних олів у 1,7-2,5 рази, збільшення ресурсу роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) до 33-38% завдяки відсутності нагару на деталях КШМ, зниження токсичності та димності відпрацьованих газів до 90%, а також зниження вартості палива на 35-45%. Завдяки власному видобуванню природного газу, що станом на 2024 рік склала близько 20 млрд м³ на рік перехід на власні енергоносії являється стратегічно актуальним [2]. Враховуючи вичерпність нафтової сировини та велику кількість техніки, яка використовує рідке паливо, є економічно доцільним перевести енергетичні засоби господарства на газоподібне паливо [3].

Особливості заправки техніки природнім газом (метаном) дещо стримують його використання особливо в умовах аграрного виробництва де основною проблемою являється відсутність поруч інфраструктури для заправки балонів метаном під високим тиском тиском до 20-23 МПа.

Метою даної валіфікаційної роботи є підвищенню ефективності експлуатації газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном.

Запропоноване конструктивне рішення скоротить час заправки газодизелів та дозволить реалізувати експлуатацію газодизелів за умови відсутності поруч з господарством газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС)

Розділ 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1 Характеристика господарства

ТОВ «Крупа і К» розташоване в с. Володимирівка Криворізького району Дніпропетровської області. Господарство спеціалізується на вирощуванні зернових (пшениця, ячмінь, кукурудза), олійних (соняшник) та овочевих культур [4]. Станом на 2024 рік у ньому працює 17 постійних співробітників. До складу господарства входять машино-тракторна бригада, майстерня та зерносковище. У господарстві також функціонує добре розвинута транспортна мережа, що забезпечує ефективне переміщення між виробничими об'єктами (поля, ферма, адміністративні приміщення, машино-тракторна бригада).

1.2 Аналіз природно-кліматичних умов

Клімат на території господарства помірно теплий, з жарким і сухим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура повітря складає 13,4°C. Початок зими визначається середньою датою настання мінусової середньодобової температури, що припадає на 18 грудня. Зима є помірно холодною з нестійкими морозами і снігами. Промерзання ґрунту в середньому досягає глибини 43-50 см. Середня мінусова вологість повітря становить 71%. На зимовий період припадає 31% річної кількості опадів у вигляді дощу та снігу, а на осінь і літо – 72%. У період активного росту (травень-вересень) випадає 168 мм опадів. Випаровування води з ґрунту в регіоні перевищує кількість опадів, що свідчить про необхідність впровадження нових технологій для збереження вологи в ґрунті.

1.3 Характеристика рослинної галузі

Основним напрямком діяльності господарства є рослинництво, яке базується на вирощуванні зернових культур (кукурудза, пшениця, ячмінь) та олійних культур (соняшник). Для забезпечення стабільності рослинництва важливим є правильне планування сівозмін. Сівозміни є ефективним агротехнічним заходом для боротьби з бур'янами, хворобами і шкідниками, попередження ерозії ґрунту, а також для оптимального використання техніки та підвищення продуктивності праці. У зв'язку з посушливим кліматом регіону, в господарстві застосовують 5-пільну сівозміну, що включає: одне поле з чистим паром, три поля для зернових культур та одне поле для олійних культур.

Структура сівозміни: Озима пшениця – Кукурудза – Ярий ячмінь – Жито – Соняшник – Овочі.

Дані щодо структури посівних площ і врожайності культур за період з 2022 по 2024 рік наведені у відповідних таблицях.

Таблиця 1.1 – Посівні площі господарства

Угіддя	2022		2023		2024	
	га	%	га	%	га	%
Всього угідь	426	100	466	100	490	100
Кукурудза	124	29,1	125	26,8	128	26,1
Пшениця	98	23	110	23,6	121	24,7
Жито	42	9,9	43	9,2	46	9,4
Овочі	44	10,3	46	9,9	48	9,8
Соняшник	84	19,7	112	24,0	116	23,7
Ячмінь	34	8,0	30	6,4	31	6,3

Протягом 2022–2024 років у господарстві спостерігається стійка тенденція до розширення загальних посівних площ – з 426 га у 2022 році до 490 га у 2024 році, що свідчить про поступовий розвиток виробничих потужностей та

ефективне використання наявних ресурсів. Кукурудза залишається основною культурою, проте її частка в загальній структурі посівів має тенденцію до незначного зменшення: з 29,1% у 2022 році до 26,1% у 2024 році. Незважаючи на це, посівні площі під цією культурою зростають у абсолютному вимірі (з 124 до 128 га), що вказує на стабільно високий попит або врожайність культури. Пшениця демонструє як абсолютне, так і відносне зростання: з 98 га (23%) до 121 га (24,7%). Площа під житом зростає повільно: з 42 га до 46 га, а його частка залишається відносно стабільною (близько 9,4–9,9%). Овочеві культури займають 44–48 га у різні роки, із незначним зменшенням частки (з 10,3% до 9,8%). Соняшник демонструє найбільший приріст площ: з 84 га (19,7%) у 2022 році до 116 га (23,7%) у 2024 році. Натомість ячмінь демонструє певне скорочення як у площах (з 34 га до 31 га), так і у відсотковому співвідношенні (з 8,0% до 6,3%). Це обумовлено нижчою рентабельністю. Загалом, аналіз показує, що господарство вживає активних заходів для оптимізації сівозміни, зокрема скорочуючи площі під деякими культурами (озима пшениця, ячмінь) і збільшуючи площі під іншими (кукурудза, пар). Це свідчить про динамічну адаптацію до змін на ринку сільськогосподарських культур і агрономічних умов.

Таблиця 1.2 – Врожайність культур

Культура	Роки		
	2022	2023	2024
Кукурудза на зерно, кг/га	3840	4044	4104
Озима пшениця, кг/га	3654	3845	4154
Овочі, кг/га	34552	35224	36871
Ярий ячмінь, кг/га	2702	2841	3045
Жито, кг/га	3234	3551	3576
Соняшник, кг/га	1820	1856	1966

Аналіз врожайності культур за період з 2022 по 2024 роки показує, що, незважаючи на деяке зниження врожайності в 2023 році для більшості культур, у 2024 році спостерігається позитивна динаміка зростання врожайності для всіх культур. Найбільший приріст врожайності спостерігається у соняшнику (8%) та кукурудзі (6,9%). Що являється результатом змін у технології вирощування, покращення агротехнічних заходів та сприятливими погодними умовами. Потрібно продовжувати оптимізацію сільськогосподарських практик та моніторинг кліматичних умов для досягнення стабільної та високої продуктивності в майбутніх роках.

1.4 Рівень механізації господарства

Механізація в господарстві перебуває на достатньо високому рівні, що підтверджується даними, наведеними в таблиці 1.3. За належний стан машино-тракторного парку відповідає головний інженер, до якого підпорядковуються працівники, що займаються ремонтом, обслуговуванням та експлуатацією техніки.

Таблиця 1.3 – Рівень механізації робіт в господарстві

Назва технологічного процесу	Ступінь механізації, %
Посів с.г. культур	98
Завантажувальні роботи	87
Обробіток ґрунту	100
Прополювальня	91
Внесення добрив	98
Збирання врожаю	100

Технічне обслуговування в господарстві здійснюється відповідно до графіків, визначених виробниками техніки. Поточні та капітальні ремонти виконуються згідно з планами, затвердженими керівництвом підприємства. Для виконання ремонтних робіт є невеликий запас запасних частин. У разі необхідності ремонту іноземної техніки залучають сервісні служби дилерів.

По завершенню польових робіт проводиться комплекс заходів щодо зберігання техніки, включаючи зниження тиску в шинах, демонтаж ременів і ланцюгів, а також нанесення консервуючого розчину на різьбові з'єднання та робочі частини апаратів. Всі роботи виконуються за наказом керівника, після чого складається акт про зберігання техніки, і відповідальність за неї покладається на працівників, які за неї відповідають.

Важливим фактором підвищення ефективності механізації виробничих процесів є сучасна система машин, що використовується в господарстві, перелік яких наведено в таблиці 1.4. На території машино-тракторного парку також є заправний пункт для заправки техніки паливом та заміни мастильних матеріалів.

Таблиця 1.4 – Основні машини та засоби механізації ТОВ Крупа і Ко

Найменування машин	Кількість, шт.
1	2
Трактори	
ЮМЗ-8040	2
МТЗ-80.1 "Білорус"	2
МТЗ-82.1 "Білорус"	3
Case IH Magnum 340	2
Плуг	
Lemken Euro Diamant 10	1
ПЛН-3-35 «Козак»	4

Продовження табл.1.3

1	2
Культиватори	
КПШ-10 ЄВРО	2
Amazone Catros 6001	2
КРН-5,6	3
КПС-6	2
КПС-4	4
Сівалки	
Сівалка MF 9186 VE	2
СЗ-3,6	4
Horsch Pronto 6 DC PPF	1
Борони	
Amazone Centaure 7500	2
БДТ-6	2
АДГ-2,4	4
БЗСС-1,0-1	41
Оприскувачі та розкидачі	
ВЕКТОР-2000/21	2
РУМ-1000	3
Причепи	
2ПТС-4	6
2ПТС-10	2
Автомобілі	
КрАЗ-6130С4	1
MAN TGX 33.480	2
Комбайн	
Case 2388	1
Навантажувач Case IH Farmlift 742	1

1.5 Економічні показники

Економічні показники господарства є важливим інструментом для оцінки його ефективності та визначення потенціалу розвитку. Вони включають в себе основні фінансові та виробничі показники, що характеризують діяльність агропідприємства, а також забезпечують можливість для стратегічного планування і прийняття управлінських рішень.

Одним із важливих аспектів є аналіз валового виробництва та продуктивності праці. Валова продукція господарства за останні роки демонструє стабільне зростання, що пов'язано з підвищенням ефективності сільськогосподарського виробництва, оптимізацією технологічних процесів та застосуванням нових методів ведення сільського господарства. Вирощування зернових та олійних культур є основним напрямом діяльності господарства, що дозволяє досягати високих результатів на обмежених земельних площах.

Серед ключових показників, що оцінюють фінансову стабільність господарства, можна відзначити рівень рентабельності, яка є важливим індикатором ефективності використання ресурсів. Рентабельність господарства поступово зростає завдяки оптимізації витрат на виробництво та зниженню собівартості продукції. Використання новітніх технологій, підвищення якості обробки ґрунтів та впровадження сучасних методів збереження вологи дає змогу знижувати витрати на техніку та паливо, що позитивно впливає на фінансові результати.

Продуктивність праці є ще одним важливим економічним показником, що показує ефективність використання робочої сили на підприємстві. В господарстві проводиться постійна робота з підвищення кваліфікації працівників, що дозволяє збільшити продуктивність праці і забезпечити високі результати на одиницю працюючих. Впровадження автоматизованих систем управління виробничими процесами, а також модернізація технічного оснащення дозволяють значно підвищити ефективність роботи персоналу.

Ще одним значним економічним показником є рівень інвестицій у розвиток господарства. За останні роки підприємство активно інвестує в оновлення техніки, будівництво нових складів для зберігання продукції та розвиток інфраструктури. Завдяки цьому господарство має можливість не тільки збільшувати обсяги виробництва, але й знижувати витрати на зберігання та транспортування продукції.

Нарешті, важливим економічним показником є стабільність доходів від основної діяльності господарства, що дозволяє забезпечити його фінансову стійкість та розвиток. Підвищення ефективності використання землі, зменшення витрат на виробництво та стабільне зростання обсягів виробництва дозволяють господарству підтримувати стабільні доходи та забезпечувати своє фінансове благополуччя.

Таким чином, економічні показники господарства вказують на позитивні зміни в ефективності його роботи, наявність потенціалу для подальшого розвитку та здатність адаптуватися до змінюваних умов аграрного ринку. Основні економічні показники господарства наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Економічні показники господарської діяльності

Назва культури	Роки		
	2022	2023	2024
Рівень рентабельності, %	36	39	42
Рівень інвестицій, грн	1800500	230567	5203540
Прибуток, тис. грн/га	4340,9	5374,8	6855,5
Вартість валової продукції на 1 люд-год.	24,8	27,3	32,4
Затрати праці, люд-год.	1,25	1,23	1,20

За результатами аналізу економічних показників господарства за 2022-2024 роки можна відзначити кілька важливих тенденцій, які вказують на позитивні зміни в діяльності підприємства та сприяють його економічному зростанню.

Рентабельність господарства стабільно зростала протягом трьох років, збільшившись з 36% у 2022 році до 42% у 2024 році. Це свідчить про ефективне використання ресурсів і високий рівень прибутковості підприємства. Зростання рентабельності може бути результатом оптимізації виробничих процесів, зменшення витрат на виробництво та вдосконалення методів ведення агробізнесу.

Рівень інвестицій: Вартість інвестицій у розвиток господарства показала значне зростання. Якщо в 2022 році інвестиції склали 1 800 500 грн, то в 2024 році вони досягли 5 203 540 грн, що є великим стрибком. Це свідчить про серйозні капіталовкладення в модернізацію та розвиток інфраструктури господарства. Такі інвестиції можуть включати оновлення техніки, покращення умов праці та розширення виробничих можливостей.

Прибуток на гектар також демонструє позитивну динаміку, збільшившись з 4 340,9 тис. грн/га у 2022 році до 6 855,5 тис. грн/га у 2024 році. Це свідчить про збільшення ефективності використання земельних ресурсів, що є результатом впровадження нових технологій та підвищення врожайності культур. Високий рівень прибутку на гектар вказує на те, що підприємство може генерувати більше доходу з кожної одиниці землі.

Вартість валової продукції на 1 люд-год демонструє зростання, збільшившись з 24,8 грн у 2022 році до 32,4 грн у 2024 році. Це означає, що продуктивність праці на одиницю часу покращилася, і працівники господарства стали генерувати більший обсяг валової продукції за той самий час. Підвищення цього показника стало можливим внаслідок вдосконалення технологій та автоматизації виробничих процесів.

Затрати праці зменшилися з 1,25 люд-год у 2022 році до 1,20 люд-год у 2024 році. Це свідчить про покращення продуктивності праці, що є

результатом автоматизації, застосування більш ефективних агротехнічних заходів і вдосконалення управлінських процесів. Зниження трудових затрат може також свідчити про більш ефективне використання ресурсів та часу працівників.

1.6 Висновки

1. Аналіз господарської діяльності свідчить про позитивну динаміку економічних показників, що свідчить про його здатність ефективно використовувати ресурси та адаптуватися до змін на ринку. Значні інвестиції в модернізацію та впровадження новітніх технологій сприяють підвищенню рентабельності, ефективності використання земельних і трудових ресурсів.

2. Механізація товариства перебуває на високому рівні, що підтверджується ефективним використанням техніки в різних технологічних процесах. Високий ступінь механізації робіт, таких як обробіток ґрунту, посів сільськогосподарських культур, збирання врожаю та внесення добрив, дозволяє значно підвищити продуктивність праці, зменшити трудозатрати і скоротити час на виконання операцій. Наявність сучасного машинного парку, зокрема потужних тракторів, сівалок, комбайнів та іншої техніки, дає змогу здійснювати ефективне управління виробничими процесами та забезпечує високу якість виконання сільськогосподарських робіт.

3. Основною проблемою, що впливає на ефективність виробництва продукції являються витрати на енергоносії а головне на дизельне паливо. Тому в якості пілотного проекту врахувавши напрацювання кафедри ТСГМ пропонується перевести частину тракторного парку з дизельними двигунами на роботу за газодизельним робочим циклом. Розробити ефективний спосіб перезаправки тракторів стисненим газом метаном в умовах відсутності АГНСК поруч з господарством.

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Цілі та завдання дипломного проектування

Основною ціллю дипломного проекту є підвищення ефективності експлуатації газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції касет для швидкої заправки метаном.

Для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати актуальність дипломного проекту;
- провести аналіз процесу заправки стисненим газом техніки за результатами якого обґрунтувати спосіб заправки газодизельних тракторів в господарстві;
- виконати розрахунки запропонованої конструкції з'ємної касети з балонами на міцність та вплив її розміщення на стійкість трактора;
- розробити заходи з охорони праці при експлуатації газодизельних тракторів в агрегаті з сільськогосподарськими машинами;
- економічно обґрунтувати запропоноване конструктивне рішення.

Актуальність дипломного проекту

Згідно проведеного аналізу господарської діяльності близько 99 % мобільної техніки експлуатується з використанням палив нафтового походження. Враховуючи вичерпність нафтової сировини а відповідно постійну тенденцію росту палив нафтового походження на сьогодні є досить актуальним переведення техніки на експлуатацію з використанням стисненого природного газу метану.

Особливості заправки техніки метаном дещо стримують його використання особливо в умовах аграрного виробництва де основною

проблемою являється відсутність поруч інфраструктури для заправки балонів метаном під високим тиском до 20-23 МПа [5].

Тому в якості пілотного проекту актуальним буде переведення частини тракторного парку на роботу з використання метану. Для підвищення ефективності експлуатації газобалонних тракторів розробити конструкції касет для швидкої заправки метаном. Це дозволить скоротити час заправки газодизелів та дозволить реалізувати експлуатацію газодизелів за умови відсутності поруч з господарством газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС)

2.2 Об'єкт модернізації

За об'єкт модернізації обираємо трактори марки МТЗ-82.1 (рис. 2.1), що широко використовуються в господарстві для механізації рослинництва в якості основних мобільних енергетичних засобів. Трактори даного модельного ряду відносяться до універсально-просапних з тяговим зусиллям 14 кН [6]. Завдяки колісній формулі 4x4 мають підвищену прохідність та знижений відсоток буксування рушіїв за рахунок кращого зчеплення в польових та дорожніх умовах. Трактори обладнуються чотирициліндровим дизелем Д-243.91.



Рис. 2.1 Універсально-просапний трактор МТЗ-82.1

Силова передача трактора механічна з блокуванням диференціалу. Забезпечу необхідний швидкісний рух та тягове зусилля 1,4 тони. Завдяки використанню гідрооб'ємного рульового механізму керування трактором в агрегаті з сільськогосподарськими машина здійснюється легко та з досить високою точністю забезпечуючи високий рівень маневреності. Більш детально основні конструктивні та експлуатаційні показники об'єкта модернізації наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні конструктивно-технологічні показники об'єкта модернізації

Показник	Значення
Об'єкт модернізації	Трактор МТЗ-82.1
Силова установка	Дизель, Д-243.91
Клас тяги, т	1,4
Потужність силової установки (номінальна), кВт	60,32
Габарити – довжина; ширина; висота	Д-4130 Ш-1972 В-2750
Загальна маса трактора, кг	4486
Маса на передній вісі, кг	1642
Маса на задній вісі, кг	2844
Силова передача	Механічна, 9 передач
Швидкісний режим, км/год	1,9...34
Кліренс, мм	461
Вал відбору потужності незалежний двошвидкісний, хв ⁻¹	540 або 1000
Ширина колії передні колеса, м	1,4-1,8
Ширина колії задні колеса, м	1,418-1,826

В якості силової установки трактора МТЗ-82.1 використовується чотирициліндровий рядний дизель без наддуву Д-243.91 (рис. 2.2) з внутрішнім сумішоутворенням в нероздільній камері згорання [7].

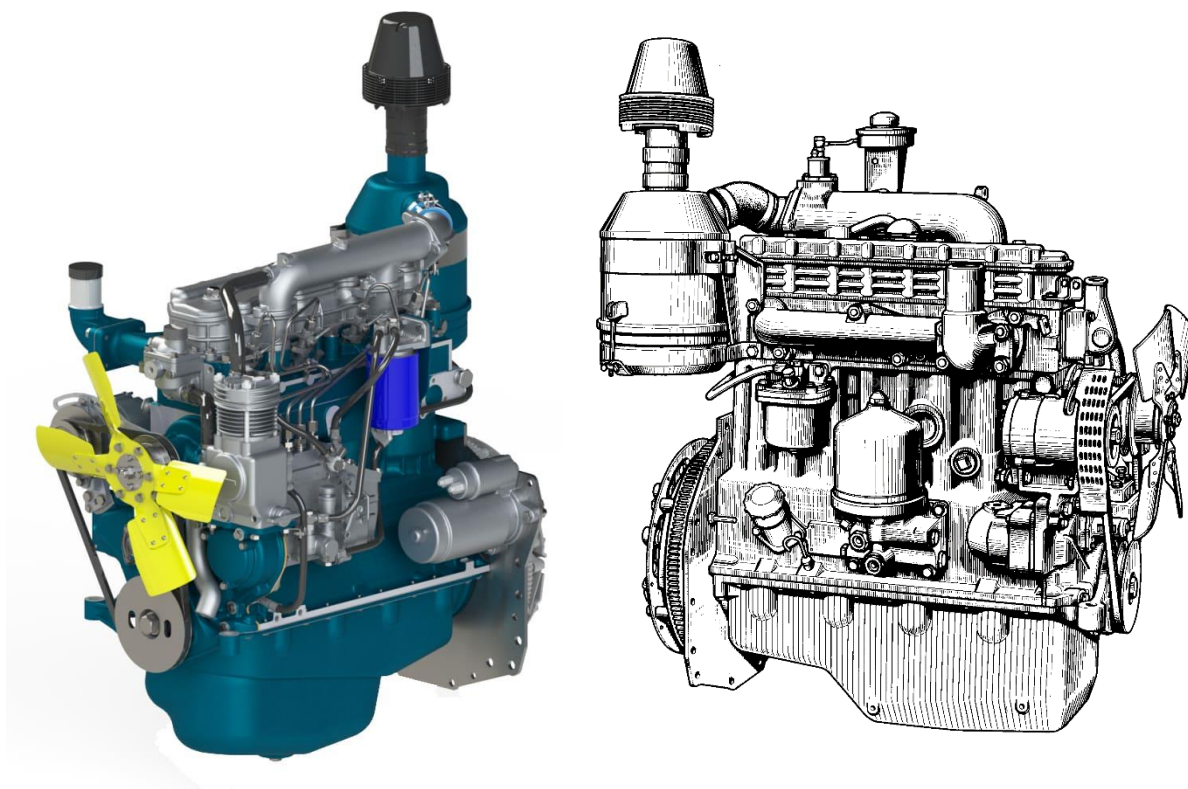


Рис. 2.2. Силова установка дизель MMZ Д-243.91

До основних показників силової установки трактора відноситься потужність, сумарний робочий об'єм двигуна, максимальний крутний момент, номінальні оберти колінчастого валу, а також питома та годинна витрата дизеля. Дизельний двигун без наддуву зазвичай має менший рівень потужності порівняно з двигунами з турбонаддувом, але відзначається високою надійністю та довговічністю. Основні показники силової установки трактора наведено в таблиці 2.2.

Використавши напрацювання науковців ДДАЕУ по переобладнанню дизелів для роботи за газодизельним циклом в проекті буде використано систему регулювання потужності газодизеля та основні складові системи живлення двигуна з використанням двох палив дизеля та метану [8-11]. Система дозволяє реалізувати ефективне співвідношення дизеля та метану в залежності від режиму роботи двигуна.

Таблиця 2.2 – Основні показники дизеля ММЗ Д-243.91

Показник	Значення
Тип двигуна	4 тактний дизель
Потужність дизеля, кВт	60,32
Число циліндрів та розташування, шт	4-рядне
Порядок роботи	1-3-4-2
Годинна витрата пального, кг/год	13,6
Питома витрата пального, г/кВт*год	225,8
Максимальний крутний момент, Нм/об	298/1600
Сумарний робочий об'єм, л	4,77
Діаметр циліндра, мм	110
Хід поршня двигуна, мм	125
Частота обертання КВ ном. режим, хв ⁻¹	2200
Ступінь стиску	16
Сумішоутворення:	Внутрішнє
Система подачі палива	безпосередній вприск
Система охолодження	Рідинна
Система мащення	Комбінована
Система пуску	Стартер
Робочий тиск системи мащення, атм	1,5-3
Паливний насос	ПНВТ- 4УТНІ
Маса суха, кг	431

Конверсія тракторів для роботи на стиснутому метані за газодизельним циклом є перспективним напрямом для підвищення економічної та екологічної ефективності мобільних енергетичних засобів. Заміна частини дизельного пального на природний газ дозволяє знизити витрати на паливо, а також зменшити шкідливі викиди, що відповідає сучасним вимогам екології та сталого розвитку.

2.3 Особливості конверсії тракторів для роботи за газодизельним циклом

Конверсія дизельних двигунів тракторів для роботи за газодизельним циклом стає все більш актуальною в умовах зростаючих вимог до енергоефективності та екологічної безпеки. Газодизельний цикл дозволяє використовувати природний газ або зріджений нафтовий газ (LPG) в якості основного палива, що знижує витрати на паливо та зменшує викиди шкідливих речовин в атмосферу [12].

Перехід дизельного двигуна на газодизельний цикл роботи потребує вирішення певних технічних задач, серед яких:

- **Зберігання та заправка палива.** Для зберігання необхідного запасу палива стиснутого газу метану необхідно передбачити місце для розміщення балонів високого тиску не порушуючи оглядовість та стійкість транспортного засобу. Ще одним не більш значущим питанням являється заправка палива, яка потребує відповідної інфраструктури в господарстві.

- **Модернізація системи подачі палива.** Для подачі стиснутого природного газу потрібно встановити спеціальне обладнання для пониження тиску та підігрівання газу та інжектори або змішувачі, а також регулятори (клапани) для регулювання витрати газу в залежності від навантаження та частоти обертання колінчастого валу дизеля.

- **Адаптація процесу запалювання суміші.** Оскільки газ метан не має такої низької температури самозапалювання як у дизельного палива (230-280 С°), для підпалювання суміші необхідно подавати разом з газом і запальну дозу дизеля не менше 25-30% .

- **Система управління двигуном.** Для роботи газодизельного двигуна необхідно розробити нову систему регулювання потужності, яка забезпечить необхідне співвідношення дизельного палива та газу, забезпечуючи стабільну роботу двигуна на різних режимах.

Заправка.

Особливості експлуатації газодизеля. Газодизельний цикл поєднує у собі властивості, як дизельного, так і газового двигуна [13-14]. Основною відмінністю є те, що в такому двигуні використовується суміш дизельного палива і газу (природного газу метану).

Роботу газодизеля можна розділити на такі етапи:

Запуск двигуна на дизельному паливі. Газодизельний двигун запускається за допомогою традиційного дизельного палива, оскільки природний газ не має достатньої стисненості для samozapalювання.

Перехід на газодизельний режим. Після запуску двигуна в систему подається природний газ, який заміщує частину дизельного палива. При цьому, в залежності від режиму роботи, частка газу може варіюватися від 40% до 70%. Подача частки дизельного палива в суміші з газом сприяє його запаленню в камері згоряння.

Переваги газодизельного циклу для тракторів

1. Економія на паливі. Природний газ значно дешевший за дизельне паливо, що дозволяє знизити витрати на експлуатацію трактора.
2. Зниження викидів. Газове паливо є більш екологічним за дизельне, оскільки його горіння супроводжується меншими викидами CO₂, NO_x, сажі та інших шкідливих речовин.
3. Збільшення терміну служби двигуна. Завдяки меншій температурі згоряння та чистішому горінню, газодизельні двигуни можуть мати довший термін служби порівняно з традиційними дизельними двигунами.

До недоліків можна віднести

1. Підвищення складності системи живлення газодизеля та вищі вимоги до охорони праці при експлуатації газобалонних тракторів.
2. Вартість модифікації. Перехід на газовий режим вимагає значних інвестицій у модернізацію двигуна, зокрема для установки системи подачі газу, зміни інжекторів, а також установки додаткових систем управління.

3. **Залежність від інфраструктури.** Газодизельні трактори потребують доступу до інфраструктури для заправки газом, що може бути проблемою в регіонах, де немає розвиненої мережі заправок для природного газу.

В цілому конверсія тракторних дизелів на газодизельний цикл має великий потенціал для розвитку в майбутньому, особливо з урахуванням зростаючих вимог до енергоефективності та екологічних стандартів. З розвитком інфраструктури для заправки газом та удосконаленням технологій зберігання та подачі палива, такі двигуни можуть стати основою для сталого сільського господарства, яке буде працювати з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

2.4 Аналіз способів заправки енергетичних засобів метаном

Все більше в європейських країнах набирає популярності використання метану в якості пального для тракторів у сільському господарстві. Для України використання метану також має свої перспективи так, як це найбільш поширене паливо не нафтового походження, яке видобувається безпосередньо в країні. Метан, як природний газ, є чистим джерелом енергії, що дозволяє знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу та зменшити витрати на паливо.

Заправка тракторів метаном вимагає наявності спеціального обладнання та інфраструктури для безпечного зберігання і подачі газу. Отримали поширення наступні способи заправки метаном мобільних енергетичних засобів [15].

Перший спосіб - заправка виконується на спеціалізованих заправних станціях великої продуктивності, оснащених системами високого тиску для подачі метану в балони енергетичних засобів. Заправка виконується під високим тиском близько 200-220 бар.

Другий спосіб – заправка з використанням мобільних заправок метану (ПАГЗ), які розширюють можливості заправної інфраструктури на відстань до 200 км. За такого способу дещо збільшується вартість пального враховуючи його доставку. Знизити витрати на доставку можна шляхом кооперації аграрних

господарств з метою збільшення обсягів закупок пального в відповідному регіоні.

Автоматизація процесу заправки. Для забезпечення зручності та безпеки заправка тракторів метаном може бути автоматизованою. Система управління зчитує рівень заповнення газом у балонах, контролює тиск і регулює подачу газу до повного заправлення.

Для заправки техніки за першим способом необхідні великі інвестиції для будівництва АГНКС (Автомобільна газонаповнювальна компресорна станція). Відповідно будівництво таких станцій актуальне при відповідному попитові на даний вид палива з продуктивністю від 100 до 500 м³/год (табл. 2.3) [16], що не актуально для невеликих агрогосподарств, де продуктивність не перевищує 30 м³/год.

Таблиця 2.3 – Основні показники АГНКС продуктивністю до 500 м³/год

Показник	Значення
Кількість місць для заправки	2-4
Витрати електроенергії кВт·год	60-100
Продуктивність, м ³ /год	100-500
Тиск наддуву на виході, МПа	20-25
Напруга живлення, В	380
Загальна площа, м ²	До 1000
Температура газу на виході не більше, С°	50
Рівень шуму не більше, дБ	85



Рис. 2.3. Загальний план АГНКС з розміщенням основних складових

В останні роки за кордоном все більше з'являється заправних станцій малої продуктивності від 5 до 11 м³/год від компанії BRC (Італія) (рис. 2.4) [17]. Даного типу станції отримують поширення в домогосподарствах з експлуатацією легкового транспорту на метані.



Рис. 2.4. Заправна станція FMQ-8-36

Підключення міні станцій виконується безпосередньо до побутових мереж, що спрощує інфраструктуру та вартість інвестицій, але для нашого випадку для забезпечення потреб господарства необхідно не менше трьох таких станцій, що знижує ефективність в зв'язку збільшенням вартості на їх обслуговування так, як замість однієї компресорної станції буде експлуатуватися мінімум три. Основні показники станції наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні показники заправної станції FMQ-8-36

Показник	Значення
Кількість місць для заправки	1
Витрати електроенергії кВт·год	4,7
Продуктивність, м ³ /год	12-13
Тиск наддуву на виході, МПа	21-24
Напруга живлення, В	220
Маса, кг	270
Габарити, мм	0,85×1,22×0,82
Температура газу на виході не більше, С°	45
Рівень шуму не більше, дБ	70

Завдяки компактним складовим, а саме пневматичному компресору, вентилятору, заправній арматурі та блоку керування станція займає площу не більше 1 м².

Проведем аналіз ще одного способу заправки енергетичних засобів (тракторів, автомобілів та ін.) з використанням мобільного типу заправників газоподібного палива метану «ПАГЗ». Як уже було наголошено актуальність даного способу полягає в розширенні інфраструктури заправки газобалонної техніки в радіусі до 200 км за рахунок мобільної доставки стиснутого газу. Заправка ємностей балонів мобільного заправника здійснюється на стаціонарних АГНКС з продуктивністю не менше 500 м³/год. Після чого мобільний заправник транспортує стиснений газ до споживача для заправки техніки з використанням пасивного безкомпресорного методу заправки (рис. 2.5) [18] або активним методом заправки балонів технічних засобів з використанням компресорної станції на базі ПАГЗ (рис. 2.6) [19].

Основними складовими конструкції ПАГЗ є балони акумулятори газу, заправна арматура з обліковим механізмом та системою керування процесом заправки балонів транспортних засобів.



Рис. 2.5. Мобільний заправник пасивного методу заправки КрАЗ-ПАГЗ 3000

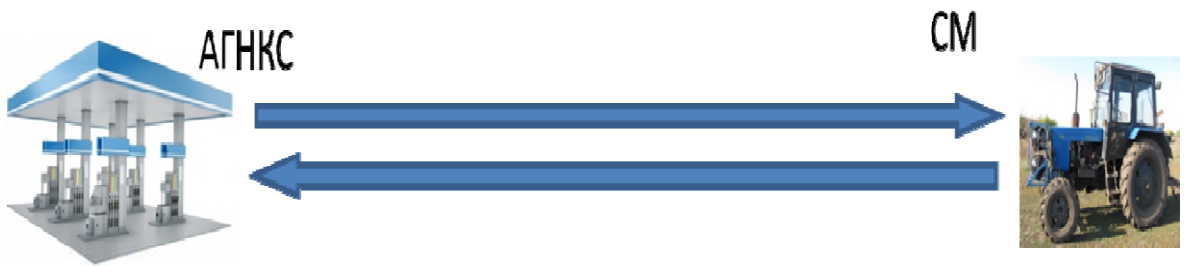
Перевагами конструкції ПАГЗ пасивного методу заправки є максимальне заповнення його простору ємностями для стиснутого газу метану за рахунок відсутності компресорної станції. Вартість заправників пасивного методу заправки в рази менше в порівнянні з активними. До основних недоліків можна віднести не повне використання газу в ємностях при зниженні тиску в них нижче 20 МПа

Використання активних заправників дозволяє вирішити дані проблеми притаманні пасивним заправникам за рахунок примусового нагнітання газу компресорною установкою розміщеною на базі мобільного заправника (рис. 2.6) [19].



Рис. 2.6. Заправник з активним методом заправки газу ПГАЗ-1200-К

Проведений аналіз дозволяє врахувати особливості кожного із способів та обрати оптимальний спосіб заправки сільськогосподарської техніки газом. Як показує досвід, використання мобільних заправників стиснутим газом є доцільним лише при їх повному завантаженні. Тому господарствам з невеликою кількістю техніки доцільно об'єднуватися з іншими підприємствами, які також використовують газову техніку. Це можуть бути автотранспортні підприємства, агрогосподарства тощо. На рисунку 2.7 продемонстровано різні варіанти заправки тракторної техніки.



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 пропускну здатність	Віддаленість від основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки

а)

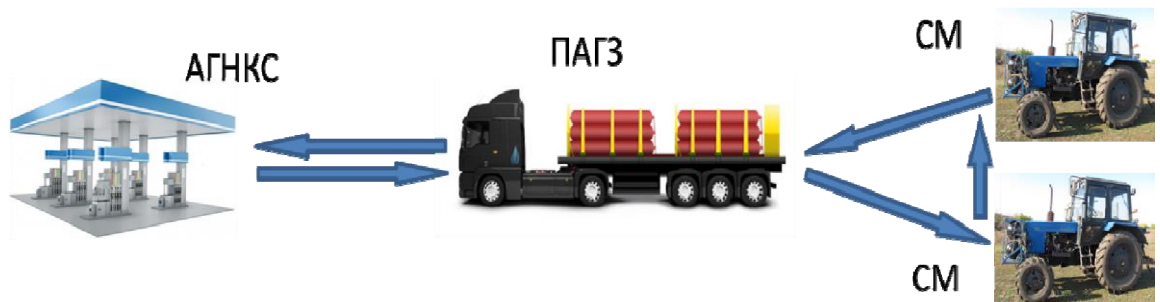


Схема «б». За цією схемою заправка СМ проводиться від заправлених на АГНКС пересувних автогазозаправників (ПАГЗ). ПАГЗи використовуються за умови, що дорога на всій ділянці шляху має дорожнє покриття. Заправка СМ в цьому випадку проводиться на обладнаних майданчиках куди вони, і доставляються з місця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

б)

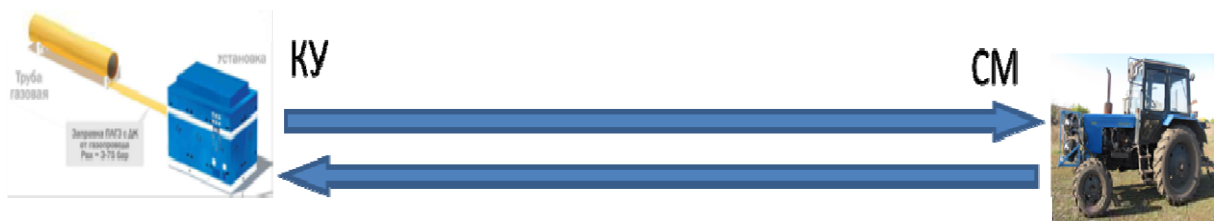


Схема «г». Заправка СМ за даною схемою може здійснюватися від компресорної установки (КУ), яка підключена до системи центрального газопостачання	Близькість до основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки	Низька продуктивність і пропускна здатність
--	---	---

в)

Рис. 2.7. Аналіз варіантів заправки тракторів

2.5 Аналіз основних способів розміщення балонів

Однією із конструктивних проблем, яку необхідно вирішити при переобладнанні тракторів для роботи на двох видах палива дизель+метан є обрання способу установки балонів для зберігання газу. Розміщення балонів впливає на такі параметри як оглядовість, стійкість та прохідність трактора. Додаткове збільшення ваги змінює положення центра ваги трактора та додатково забезпечує довантаження його ведучих коліс. Існують різні способи розміщення балонів розглянемо найбільш актуальні із них.

Так в науковцями ДДАЕУ запропоновано спосіб розміщення балонів на напіввісях задніх ведучих коліс (рис. 2.8) [20]. Перевагою даного способу є додаткове довантаження ведучих коліс, що знижує буксування рушіїв на виконанні технологічних операцій особливо на ґрунтообробці. Але окрім переваг в такого способу є і недоліки а саме частково зменшується оглядовість по бокам

та збільшуються габаритні розміри трактора по ширині, що необхідно враховувати при керуванні даною технікою.



Рис. 2.8. Бокове розміщення балонів напівосях

Ще один спосіб із боковим розміщенням балонів представлено на рисунку 2.9. Так в компанії Groenenboom (Нідерланди), що займається підтримкою спортивних майданчиків знаходяться в експлуатації газодизельні трактори New Holland T6.180 [21].



Рис. 2.9. Бокове розміщення балонів на тракторі New Holland T6

Таке конструктивне рішення покращує оглядовість та стійкість трактора, але знижує його кліренс, що необхідно врахувати при переміщенні в умовах бездоріжжя.

Ще одним конструктивним рішенням є розміщення балонів в передній частині трактора New Holland T6.180 (рис. 2.10) [21].



Рис. 2.10. Розміщення балонів попереду трактора New Holland T6

Даний спосіб вирішує проблеми пов'язані з попередніми способами розміщення балонів.

Трішки інші можливості у тракторів з членованими напів-рамами де над заднім мостом достатньо місця для розміщення. Як приклад на тракторі ХТЗ-150К (рис. 2.11) [20] можна розмістити до 12 балонів з загальним об'ємом 600 літрів або 120 м^3 . Такий об'єм газу дозволяє забезпечити надійну роботу трактора протягом 12 годин.

До переваг такого способу належить додаткове довантаження ведучих коліс. Так маса одного балона об'ємом 50 л разом з паливом становить 58 кг додатково врахувавши елементи кріплення загальна маса баласту складе близько 700 кг. Основним недоліком такого способу являється обмеження оглядовості позаду трактора.



Рис. 2.11. Спосіб розміщення балонів на тракторах з шарнірно зчленованими рамами типу ХТЗ-150К

З метою усунення проблем оглядовості, що створюють балони компанією New Holland разом з Blue Fuel Solutions розроблено конструкцію трактора для роботи за гозодизельним циклом з використанням водню з розміщенням балонів на даху трактора (рис. 2.12) [22]. Такий спосіб дещо знижує стійкість трактора та потребує зміцнення елементів кабіни стійок для безпечної експлуатації трактора.



Рис. 2.12. Розміщення балонів на даху кабіни трактора

2.6 Особливості конструкції та експлуатації балонів для стиснутого природнього газу

Зберігання метану, як пального для газодизельних двигунів здійснюється у спеціалізованих високотискових балонах, які забезпечують безпечне транспортування і подачу газу в систему живлення двигуна. Такі балони працюють під тиском до 20–25 МПа і виготовляються відповідно до вимог безпеки та стандартів експлуатації газобалонного обладнання [23].

Балони для метану (рис. 2.13) зазвичай виготовляються з легованої сталі або композитних матеріалів, що поєднують внутрішній металевий каркас із зовнішньою армованою оболонкою. Композитні балони мають меншу масу при такому ж робочому тиску, що дозволяє зменшити навантаження на транспортний засіб або стаціонарну платформу. Основними параметрами балонів є: об'єм (найчастіше від 20 до 150 літрів), робочий тиск (до 20 або 25 МПа) та маса в заправленому і порожньому стані.

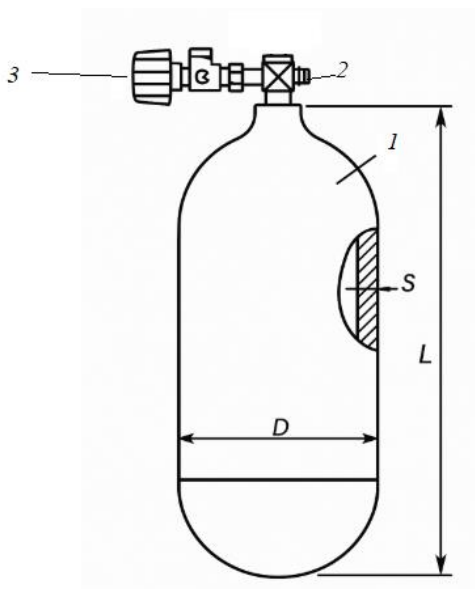


Рис. 2.13– Балон для стиснутого природнього газу:

1– балон; 2 – приєднувальний штуцер; 3 – витратний вентиль

На транспортних або стаціонарних установках балони монтуються у касети по кілька штук, що дозволяє збільшити загальний запас пального. Кожен балон обладнаний запірною-регулюючою арматурою, яка контролює подачу

метану до редуктора й далі – в систему упорскування двигуна. Для запобігання аваріям при підвищенні температури (наприклад, при пожежі), балони оснащуються плавкими запобіжними клапанами, що спрацьовують у критичних умовах.

Під час експлуатації особливу увагу приділяють періодичному технічному огляду та гідравлічному випробуванню балонів. Згідно з нормами, кожен балон повинен проходити перевірку на герметичність та міцність не рідше одного разу на 5 років.

В умовах експлуатації у складі газодизельної системи, особливо на сільськогосподарських машинах, важливо також правильно розташувати балони для забезпечення рівноваги агрегату та безпеки працівників. У разі використання метану в полі, де відсутні джерела енергії, балони є мобільним резервуаром з високою щільністю збереження енергії, що забезпечує тривалий період автономної роботи.

2.7 Висновки

1. Перехід на використання метану в якості пального для сільськогосподарської техніки, зокрема тракторів, є перспективним напрямом в умовах зростаючих вимог до екології та економії. Це дозволяє знизити витрати на паливо, зменшити шкідливі викиди та зменшити залежність від нафтових ресурсів. Однак, на шляху реалізації цієї ідеї виникають проблеми, пов'язані з відсутністю належної інфраструктури для заправки техніки метаном в сільськогосподарських господарствах, що робить актуальним розробку конструкції касет для швидкої заправки метаном.

2. Перехід дизельних двигунів тракторів на газодизельний цикл є важливим кроком у підвищенні економічної та екологічної ефективності. Використання суміші метану та дизельного палива дозволяє знизити витрати на паливо та зменшити викиди шкідливих газів. Однак, цей процес вимагає значних

технічних модифікацій та наявності відповідної інфраструктури для заправки техніки.

3. Для забезпечення ефективної роботи газодизельних тракторів необхідно забезпечити наявність інфраструктури для заправки. Розглянуті два основні способи заправки: за допомогою АГНКС (Автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій) та мобільних заправників метану (ПАГЗ). Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки, які варто враховувати при виборі оптимального рішення для конкретного господарства.

4. За результатами проведеного аналізу врахувавши особливості існуючих способів заправки стисненим природнім газом мобільної техніки з метою підвищення ефективності експлуатації газобалонних тракторів пропонується спосіб заправки останніх з використанням з'ємних касет з балонами. Детально особливості використання такого способу та конструктивні розрахунки будуть наведені в наступному розділі.

Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Конструктивна схема системи живлення газодизельного трактора МТЗ-82.1

Враховавши напрацювання кафедри ТСГМ в якості системи регулювання потужності газодизеля трактора МТЗ-82.1 обираємо схему (рис. 3.1) адаптовану для встановлення на універсально-просапні трактори з дизельними двигунами потужністю від 40 до 80 кВт ефективність якої доведено розрахунками та експериментальними дослідженнями [24]. Основними складовими системи регулювання є блок високого тиску 1 до якого входять балони 6 з редуктором високого тиску 7. Блок низького тиску, який складається з редуктора-регулятора потужності 2 та його основних складових регулятора вихідного тиску 10, пневматичного коректора 11, пневмокоректор; електромагнітного клапана 8, ключа 9 та дроселя 12.

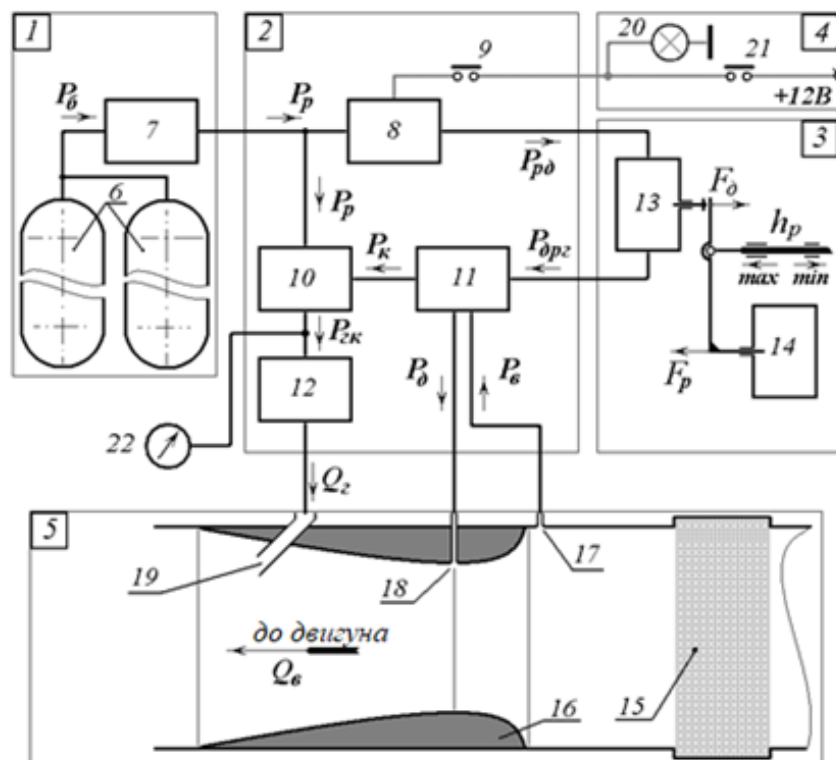


Рис. 3.1. Структурна схема системи регулювання потужності газодизеля

Д-243.91

До блока 3 системи входить відцентровий регулятор 14 паливного насоса високого тиску ПНВТ та встановлений на ньому регулятор витрати газу 13. Включення відповідних режимів газодизель чи дизель здійснюється за допомогою блока 4 з перемикачем 21 про що сигналізує контрольна лампа 20.

Блок впускного тракту 5 складається повітряного фільтра 15; дифузора 16 отворів компенсації 17 та розрідження 18, газової форсунки 19.

Налаштування необхідного співвідношення дизель-газ відповідно 30/70 виконуємо за допомогою зміни жорсткості пружини регулятора витрати газу 13. Робота двигуна трактора на холостому режимі виконується з 100 відсотковим використанням дизеля і тільки за середнього і номінальних режимів навантаження двигуна доцільно використовувати газодизельний цикл роботи. Даний алгоритм роботи реалізовано за допомогою редуктора-регулятора потужності 2 в парі з відцентровим регулятором 3. Коректна робота яких підтримується за рахунок зворотного зв'язку редуктора-регулятора 2 та впускного тракту 5 реалізованого за допомогою каналів компенсації 17 та розрідження 18.

3.2 Розробка касети для швидкої заправки метаном

Як уже наголошувалося попередньо основним із конструктивних завдань при проведенні конверсії дизельного двигуна для роботи за газодизельним циклом є обрання способу установки балонів для зберігання стиснутого природнього газу метану. Врахувавши проведений аналіз в попередньому розділі

За основний спосіб обираємо розміщення балонів в передній частині трактора і додатково на кабіні трактора за умови виконання розрахунків стійкості трактора. Для реалізації швидкої заправки трактора метаном розроблено конструкцію змінної касети (рис. 3.2) з двома балонами CNG-2G-406-100, які розраховані на робочий тиск 20МПа з загальним об'ємом 200 літрів або 32 кг метану. Технічна характеристика приведена в додатку Б

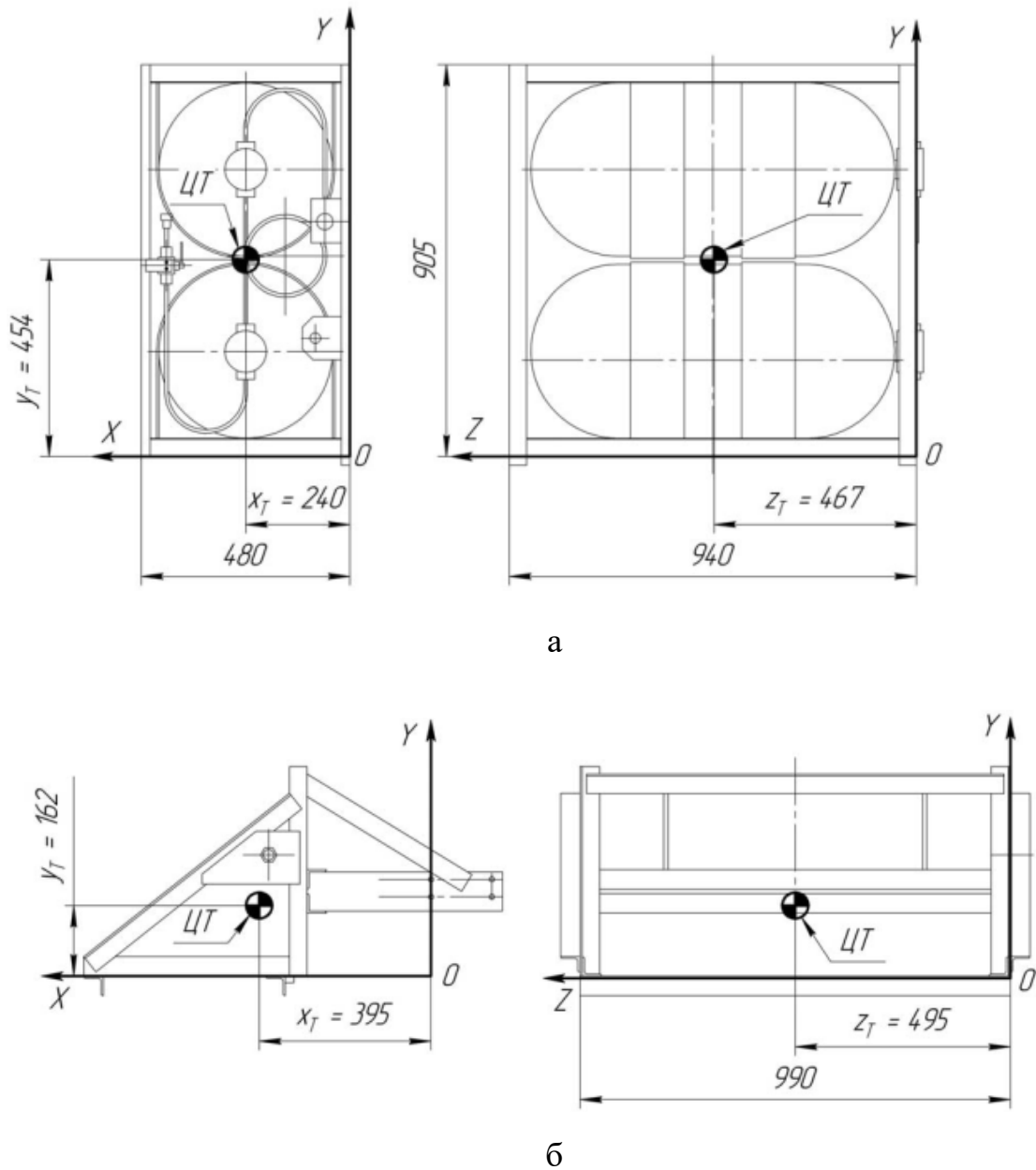


Рис. 3.2. Змінна касета для швидкої заправки трактора метаном

Касета складається з основи 1 хомутів кріплення балонів 2, монтажних вух з замками швидкої та надійної фіксації касети на остові трактора, запірної апаратури з швидкоз'ємними муфтами (додаток В) та рукавів високого тиску.

Для експлуатації трактора МТЗ-82.1 з використанням метану протягом 10 робочих днів використовується десять швидкоз'ємних касет заправка яких здійснюється на АГНСК в місті Дніпро. Для транспортування касет в господарстві та установки на трактор буде використовуватися кран-маніпулятор Atlas 57.3 на базі легкого вантажного автомобіля Isuzu NQR 90 з вантажопідйомністю 2,5 тони.

3.3 Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів касети

З метою забезпечення ефективного функціонування газодизельного трактора МТЗ-82.1 із можливістю швидкої заміни газових балонів, розроблено змінну касету, яка дозволяє виконувати оперативну заміну балонів з метаном в умовах господарства. Для проведення розрахунку параметрів касети необхідно врахувати наступні дані: кількість балонів у касеті, тип балонів і їх габарити, масу газу в балонах, конструктивні розміри основи, умови навантаження та фіксації, умови роботи. Вихідні дані для розрахунку приймаємо згідно таблиці 3.1 та додатку А та Б.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку касети:

Показник	Позначення	Значення
Каркас касети		Профільна труба 30X30X2 Сталь 45
Умови роботи	-	Польові, важкі
Тип балона	-	CNG2-G-406-100-20B
Об'єм одного балона, л	V	100
Робочий тиск, МПа	P _б	20
Маса порожнього балона, кг	m _б	49
Довжина Балона, мм		980
Діаметр балона, мм		406
Кількість балонів у касеті, шт	n _б	2
Температура навколишнього середовища, К	T	293
Газова стала, Дж/(моль·К)	R	8,314

Розрахунок конструктивних параметрів.

Розрахунок розпочинаємо з визначення габаритних розмірів змінної касети з балонами. Каркас касети виготовляємо з профільної труби 30X30X2. І перше, що ми визначимо це її довжину L_k врахувавши дані наведені в таблиці 3.1:

$$L_k = L_b + 2 \cdot L_m + L_{кар} \cdot 2 = 980 + 2 \cdot 50 + 30 \cdot 2 = 1140 \text{ мм}, \quad (3.1)$$

де L_b – довжина балона, мм

L_m – значення технологічних зазорів між боковими частинами балонів, (згідно додатку А) приймаємо $L_m = 50$ мм.

$L_{кар}$ – габарити профільної труби, (згідно табл. 3.1) 30 мм.

Висоту касети H_k визначимо за формулою:

$$H_k = D_b \cdot 2 + H_{m1} + H_{m2} + H_{m3} + 2 \cdot H_{кар}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

$$H_k = 406 \cdot 2 + 60 + 40 + 40 + 60 = 972 \text{ мм}$$

де D_b – діаметр балона, мм;

H_{m1} – технологічний зазор між балонами, мм (згідно додатку А) приймаємо 60 мм;

H_{m2}, H_{m3} – технологічний зазор між балонами і верхньою та нижньою частиною касети (згідно додатку А), приймаємо 40 мм;

$H_{кар}$ – габарити профільної труби по висоті, (згідно табл. 3.1) 30 мм.

Ширину касети B_k визначаємо за формулою:

$$B_k = D_b + 2 \cdot B_{m1} + 2 \cdot B_{кар} = 406 + 40 + 40 + 30 \cdot 2 = 546 \text{ мм} \quad (3.3)$$

де B_{m1} – технологічні зазори між балоном і каркасом касети (згідно додатку А), приймаємо 40 мм.

B_{m1} – габарити профільної труби по ширині, (згідно табл. 3.1) 30 мм.

Значення відстані між балонами знайдемо за формулою:

$$L_{m\bar{o}} = D_{\bar{o}} + H_{m1} = 406 + 60 = 466 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Загальну довжину труб для виготовлення каркасу визначимо прийнявши наступні умови:

Каркас утворений прямокутною рамою до складуючої входять:

- $n_{\bar{e}} = 4$ стійки по висоті (вертикальні);
- $n_{ui} = 6$ поперечин по ширині;
- $n_{\bar{o}} = 6$ поперечин по довжині;

Тоді значення загальної довжини труб визначимо за формулою:

$$L_{\text{заг}} = (n_{\bar{o}} \cdot L_{\kappa}) + (n_{\bar{e}} \cdot H_{\kappa}) + (n_{ui} \cdot B_{\kappa}), \text{ м} \quad (3.5)$$

$$L_{\text{заг}} = (6 \cdot 1140) + (4 \cdot 972) + (6 \cdot 546) = 11800 \text{ мм або } 11,8 \text{ м.}$$

Масу каркасу визначимо за формулою:

$$m_{\text{кар}} = L_{\text{заг}} \cdot m_m = 11,8 \cdot 2,5 = 29,5 \text{ кг} \quad (3.6)$$

де m_m – маса одного метра погонного труби (згідно додатку А) 2,5 кг/м.

На наступному етапі розрахунків визначимо конструктивну масу спорядженої змінної касети за формулою:

$$m_{\kappa} = m_{\kappa_{\text{кар}}} + (m_{\text{б}} + m_{\text{г}}) \cdot n_{\text{б}}, \text{ кг} \quad (3.7)$$

де $m_{\kappa_{\text{кар}}}$ - маса каркаса касети, кг;

$m_{\text{б}}$ – маса балона, кг згідно табл. 3.1;

$m_{\text{г}}$ – маса газу в балоні, кг.

$n_{\text{б}}$ – кількість балонів, шт.

Маса метану в балоні з урахуванням тиску визначимо за формулою:

$$m_{\text{г}} = \frac{P \cdot V \cdot M}{R \cdot T} = \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,016}{8,314 \cdot 293} = \frac{32000}{2436} = 13,5 \text{ кг} \quad (3.8)$$

Загальна маса балона з газом під тиском 20 МПа:

$$m_{\text{бг}} = (m_{\text{б}} + m_{\text{г}}) = 49 + 13,5 = 62,5 \text{ кг}, \quad (3.9)$$

тоді загальна маса касети з газом в балонах становитиме:

$$m_{\kappa} = 29,5 + (49 + 13,5) \cdot 2 = 155 \text{ кг}$$

Розрахунок центру мас касети.

Балони розміщуються горизонтально, симетрично на каркасі касети з надійним кріпленням за допомогою хомутів. Для зменшення впливу на стійкість трактора, висота центру мас від землі повинна не перевищувати 1200 мм.

Визначимо координату центра мас по ширині касети на вісі x за умови що касета симетрична за формулою:

$$x_c = \frac{L_k}{2} = \frac{1140}{2} = 570 \text{ мм}, \quad (3.10)$$

Координату центра мас по висоті касети на вісі y визначимо за формулою:

$$y_c = \frac{m_{б2} \cdot y_1 + m_{б2} \cdot y_2 + m_{кар} \cdot y_3}{2 \cdot m_{б2} + m_{кар}}, \text{ мм} \quad (3.11)$$

Значення координати центра мас нижнього балона y_1 визначимо за формулою:

$$y_1 = \frac{D_{б}}{2} + H_{м3} = 203 + 40 = 243 \text{ мм}. \quad (3.12)$$

Значення координати центра мас верхнього балона y_2 визначимо за формулою:

$$y_2 = y_1 + L_{мб} = 243 + 466 = 709 \text{ мм}. \quad (3.13)$$

Значення координати центра мас каркаса y_3 визначимо за формулою:

$$y_3 = \frac{H_k}{2} = \frac{972}{2} = 486 \text{ мм}, \quad (3.14)$$

тоді загальне значення координати центра мас по висоті касети на вісі y становитиме:

$$y_c = \frac{62,5 \cdot 243 + 62,5 \cdot 709 + 29,5 \cdot 486}{2 \cdot 62,5 + 29,5} = 478 \text{ мм}$$

Центр мас знаходиться трохи нижче геометричного центру касети (486 мм), що забезпечує стабільність положення касети при її навішуванні.

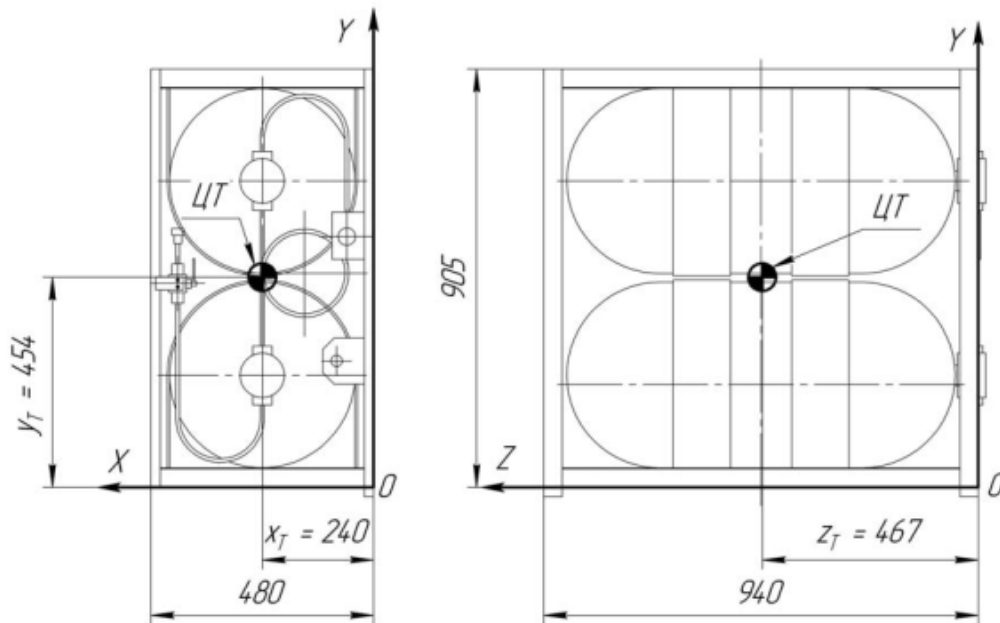


Рис. 3.3. Розрахункова схема центра мас змінної касети.

Розрахунок хомутів для кріплення балонів.

Кожен хомут - це кільце, яке огортає балон і кріпиться до каркасу касети. Довжину дуги хомути визначимо за формулою:

$$L_x = \pi \cdot D_6 = 3,14 \cdot 406 = 1274 \text{ мм.} \quad (3.15)$$

Хомут виготовляємо із полоси нержавіючої сталі 08X18Н10 шириною 40 мм і товщиною 3 мм. Для безпечної фіксації одного балона використовуємо 3 хомути. Для кріплення двох балонів використовуємо 6 хомутів.

Розрахунок та вибір запірної та приєднувальної арматури, контрольно-вимірювальних приладів.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи касети з балонами метану запірну арматуру, контрольно-вимірювальні прилади обираємо за максимальним тиском в системі, параметрами різьбового з'єднання з балонами

та робочим середовищем. Технічну характеристику обраних кранів наведено в додатку Г.

Вибір трійника виконаємо за розрахунком прохідного діаметра в зрівняння витрати газу виконавши математичні перетворення:

$$Q_z = A \cdot v, \text{ м}^3 \quad (3.16)$$

Звідки площа перерізу внутрішнього каналу трійника:

$$A = \frac{Q_z}{v} = \frac{0,00278}{35} = 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, \quad (3.17)$$

де Q_z – витрата газу, через трійник, (згідно додатку А) приймаємо 10 м³/год або 0,00278 м³/с;

v – швидкість потоку метану (згідно додатку А) приймаємо 35 м/с;

тоді значення діаметра визначимо з виразу:

$$d_n = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,72 \cdot 10^{-5}}{3,14}} = 9,91 \text{ мм} \quad (3.18)$$

Приймаємо трійник Swagelok SS-810-3, Raccord G1/2 High Pressure Tee з внутрішнім діаметром 10 мм.

Внутрішній діаметр гнучкої магістралі приймаємо згідно витрати та швидкості, які залишаються не змінними також 10 мм. Обираємо в якості гнучкої магістралі шланг Parker 2440N-08 з внутрішнім діаметром 10 мм та розрахований на максимальний тиск 35 МПа.

Для забезпечення швидкого та надійного з'єднання використовуємо муфту HC308 Ultra-Fast Fill (додаток В) розраховану на максимальний тиск 35 МПа з запірним клапаном.

3.4 Розрахунок граничних статичних кутів стійкості газобалонного трактора

В зв'язку з проведеним удосконаленням необхідно провести розрахунки стійкості трактора на підйомі та ухилах для випадку розміщення змінної касети по переду трактора МТЗ-82.1. Розрахунки граничних статичних кутів виконаємо за загальноприйнятими методиками [25, 26]. Для забезпечення стійкості трактора необхідне виконання умови:

$$M_n \geq M_c \quad (3.19)$$

де M_n – момент перекидання трактора, Н · м;

M_c – момент для стабілізації трактора, Н · м.

Теоретичні положення стійкості трактора розглядають визначення поперечної та поздовжньої стійкості трактора з визначенням основних граничних статичних кутів підйому $\alpha_{lim\Pi}$, поздовжнього α_{limy} та поперечного ухилу β_{limy} .

За результатами аналізу різних способів установки балонів для зберігання метану обираємо спосіб, який не впливає на погіршення оглядовості тракториста з робочого місця. Розміщення балонів попереду додатково забезпечує довантаження передніх ведучих коліс, що позитивно впливає на підвищення тягових показників трактора. Таке розміщення змінної касети дозволяє досить швидко виконувати перезаправку трактора за рахунок використання додаткових касет та навантажувача. Навішування відбувається за допомогою удосконаленого переднього кронштейна трактора з корзиною для касети.

Розрахунок граничних кутів розпочинаємо з вибору вихідних даних:

- Вага трактора – $G_T=44007$ Н;
- Вага спорядженої касети – $G_K=1520$ Н;
- Поздовжня база трактора – $L=2450$ мм;

- Поперечна база трактора передня вісь – $B_3=1200-1800$
- Поперечна база трактора задня вісь – $B_3=1400-2100$
- Відстань до центра касети до задньої вісі трактора – $L_{ЦТк}=3087$ мм

Розрахунок граничного статичного кута на підйомі (рис. 3.4).

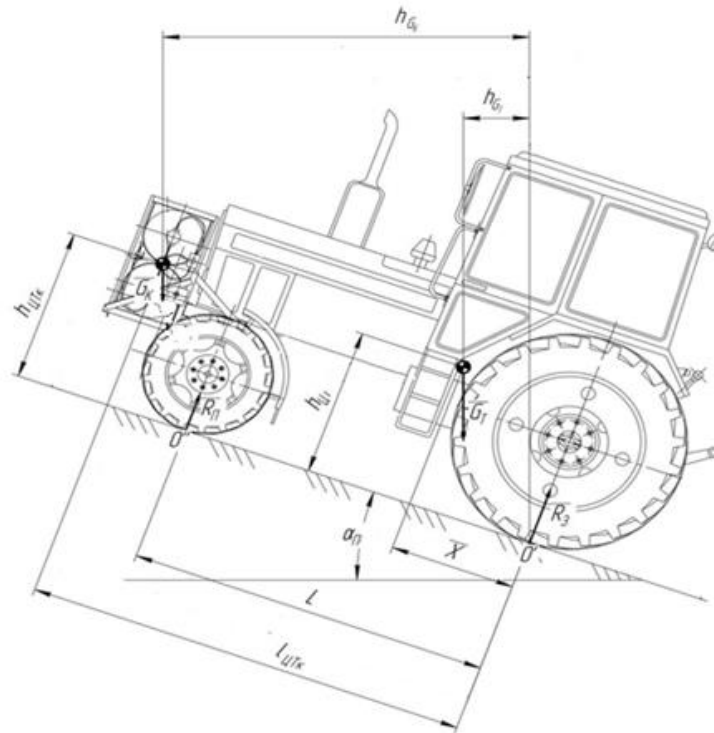


Рис. 3.4. Визначення граничного статичного кута підйому трактора

Умову рівноваги трактора на підйомі відносно точки перекидання O' запишемо за рівнянням:

$$\sum M_0(F_i) = 0; G_T h_{G_T} + G_K h_{G_K} + -R_{\Pi q} L = 0 \quad (3.20)$$

де h_{G_T} – плече прикладення сили G_T , мм;

Значення величини плеча визначимо за формулою

$$h_{G_T} = \bar{x} \cos \alpha_{\Pi} - h_{\text{ЦТ}} \sin \alpha_{\Pi} \quad (3.21)$$

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

$$h_{G_K} = l_{Ц.Тк} \cos \alpha_{\Pi} - h_{Ц.Тк} \sin \alpha_{\Pi} \quad (3.22)$$

де $l_{Ц.Тк}$ – горизонтальна координата центра тяжіння змінної касети, мм;

$h_{Ц.Тк}$ – вертикальна координати центра тяжіння касети з балонами, мм;

Реакції R_{Π} що діє на передні опорні колеса при умові перевертання трактора дорівнює нулю. Перевертання трактора виникає в випадку перевищення значення статичного граничного кута підйому $\alpha_{lim\Pi}$ і визначається за рівнянням:

$$\alpha_{lim\Pi} = \arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l_{Ц.Тк}}{G_T h_{Ц.Т} + G_K h_{Ц.Тк}} \quad (3.23)$$

Наступним кроком розрахунків є визначення статичного граничного кута ухилу (рис. 3.5).

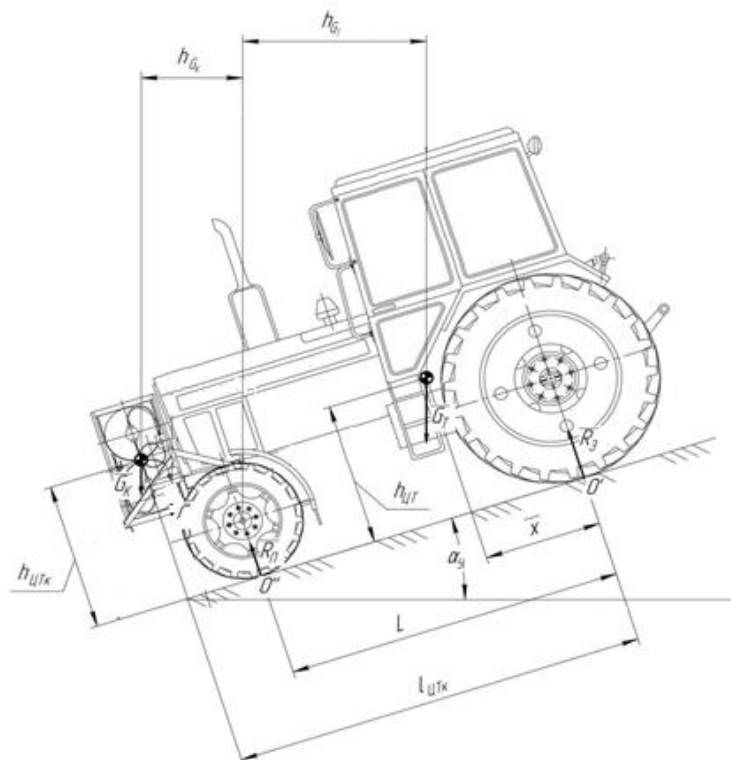


Рис. 3.3. Визначення граничного статичного кута ухилу трактора

Розрахунок розпочинаємо з визначення умови рівноваги трактора на ухилі відносно точки O'' :

$$\sum M_{O''}(F_i) = 0; -G_T h_{G_T} + G_K h_{G_K} + R_3 L = 0 \quad (3.24)$$

Відповідно плече для трактора h_{G_T} визначаємо за рівнянням:

$$h_{G_T} = (L - \bar{x}) \cos \alpha_y - h_{ЦТ} \sin \alpha_y \quad (3.25)$$

Плече відносно змінної касети h_{G_K} визначимо за рівнянням:

$$h_{G_K} = (l_{ЦТк} - L) \cos \alpha_y - h_{ЦТк} \sin \alpha_y \quad (3.26)$$

Реакції R_3 що діє на задні опорні колеса при умові перевертання трактора дорівнює нулю. Перевертання трактора виникає в випадку перевищення значення статичного граничного кута повздовжнього ухилу α_{limy} . і визначається за рівнянням:

$$\alpha_{limy} = \arctg \frac{(G_T + G_K) \cdot L - G_T \bar{x} - G_K l_{ЦТк}}{G_T h_{ЦТ} + G_K h_{ЦТк}} \quad (3.27)$$

Для визначення поперечної стійкості трактора виконаємо розрахунок статичного граничного кута поперечного ухилу згідно умови дотримання рівноваги трактора (рис. 3.4).

Для цього запишемо рівняння рівноваги трактора на поперечному ухилі:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_L B - G_T h_{G_T}^{\Pi} - G_K h_{G_K}^{\Pi} = 0 \quad (3.28)$$

де R_L – реакція на лівому колесі, Н;

$h_{G_T}^{\Pi}$ – плече до якого прикладено силу тяжіння трактора, мм;

$h_{G_K}^{\Pi}$ – плече до якого прикладено силу тяжіння касети з балонами, мм.

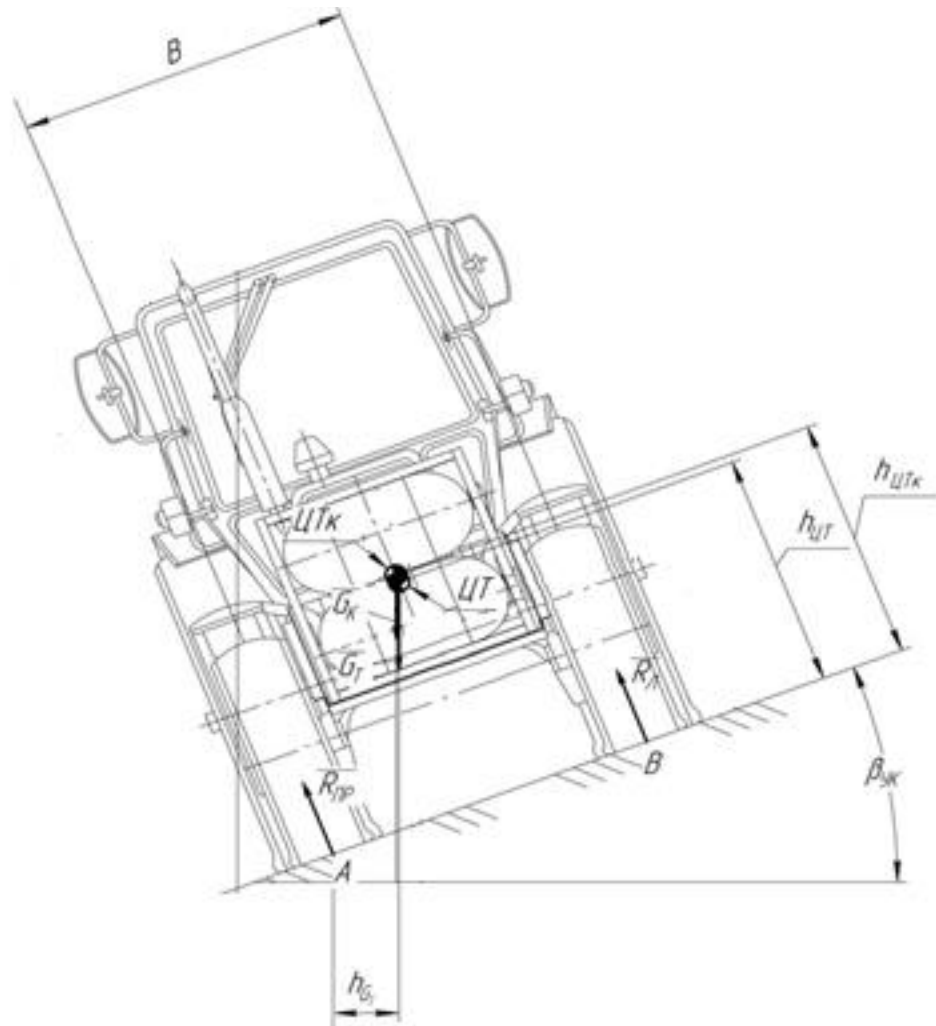


Рис. 3.4. Визначення граничного статичного кута поперечного ухилу трактора

Розрахуємо значення плеч за формулою:

$$h_{G_T}^{\Pi} = 0.5B \cos \beta_y - h_{ЦТ} \sin \beta_y \quad (3.29)$$

$$h_{G_K}^{\Pi} = 0.5B \cos \beta_y - h_{ЦТк} \sin \beta_y \quad (3.30)$$

де B – значення поперечної бази задньої вісі трактора, мм.

Реакції R_d що діє на опорні колеса розташовані ліворуч при умові перевертання трактора дорівнює нулю. Перевертання трактора виникає в випадку перевищення значення статичного граничного кута поперечного ухилу β_{limy} . і визначається за рівнянням:

$$\beta_{limy} = \arctg \frac{0.5B(G_T + G_K)}{G_T h_{цТ} + G_K h_{цТк}} \quad (3.31)$$

За отриманими аналітичними залежностями виконано розрахунки з використанням програми Mathcad в першому випадку з розміщенням змінної касети і в другому випадку без касети. В результаті значення граничних кутів наведено в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2. – Результати розрахунку граничних статичних кутів

Параметри	Значення	
	Трактор з касетою, град	Трактор без касети, град
Граничний статичний кут повздожнього підйому, $\alpha_{limП}$	41,2	39,9
Граничний статичний кут повздожнього ухилу, α_{limy}	55,3	57,1
Граничний статичний кут поперечного ухилу, β_{limy}	35,6	35,7

3.5 Розрахунок на міцність елементів касети

Найбільше навантаження приходить на горизонтальну поперечину касети, яка несе вагу обох балонів. Для виконання розрахунку її на міцність приймаємо наступну умову:

- балка знаходиться на двох опорах, на яку діє рівномірно розподілене навантаження;

- довжина балки $L = 1,14$ м

- навантаження: рівномірне, вага касети $P = 154.5 \times 9.81 \approx 1515$ Н;

Розрахунок виконуємо за загальноприйнятими методиками [27].

На першому етапі розрахунків визначимо згинаючий момент що діє на балку:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L_n^2}{8}, \text{ Нм} \quad (3.32)$$

де q – лінійне навантаження q визначимо за формулою:

$$q = \frac{P}{L_n} = \frac{1515}{1,14} = 1329 \text{ Н / м},$$

тоді:

$$M_{max} = \frac{1329 \cdot 1,14^2}{8} = 216 \text{ Н / м}$$

Момент опору прямокутної профільної труби розміром $30 \times 30 \times 2$ мм визначимо за формулою:

$$M_{on} = \frac{(B_n \cdot H_n^3 - b_n \cdot h_n^3)}{6 \cdot H_n} = \frac{(30 \cdot 30^3 - 26 \cdot 26^3)}{6 \cdot 30} = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.33)$$

Значення напруження від згинаючого моменту визначимо за формулою:

$$\sigma_n = \frac{M_{max}}{M_{on}} = \frac{216}{1,18 \cdot 10^{-6}} = 183 \cdot 10^6 = 183 \text{ МПа} \quad (3.34)$$

Виконаємо перевірку умови міцності. Для цього перевіримо виконання умови:

$$\sigma_{доп} \geq \sigma_n,$$

допустиме напруження для труби із сталі 45, $\sigma_{доп} \approx 210$ МПа отже умова міцності виконується:

$$183 \text{ МПа} < 210 \text{ МПа}.$$

Профільна труба 30×30×2 мм витримує навантаження з коефіцієнтом запасу міцності:

$$n = \frac{\sigma_{доп}}{\sigma} = \frac{210}{183} = 1,15$$

3.6 Висновки

1. Обґрунтовано та реалізовано комплексне інженерне рішення щодо модернізації трактора МТЗ-82.1 для функціонування в режимі газодизельного циклу.
2. Запропонована конструкція змінної касети для балонів метану забезпечує не лише безпечне розміщення паливних резервуарів, але й значно полегшує процедуру заправки. Розрахована касета на два балони типу CNG2-G-406-100 загальним об'ємом 40 м³ забезпечує надійну роботу трактора протягом зміни до 8 годин. Є ефективною, як за масогабаритними характеристиками, так і за параметрами міцності, що підтверджено розрахунками.
3. Особливу увагу приділено впливу встановленої касети на стійкість трактора. За результатами розрахунків граничних статичних кутів ухилу та підйому встановлено, що розміщення балонів спереду не погіршує загальну стійкість машини, а навпаки покращує тягові властивості завдяки довантаженню передньої осі.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз стану з охорони праці в господарстві

Успішне ведення сільськогосподарської діяльності неможливе без ефективної системи охорони праці, особливо з огляду на високий рівень ризику під час експлуатації техніки, роботи з паливом, агрохімікатами та іншими небезпечними факторами. У господарстві ПП «Агровест-Україна» організація охорони праці здійснюється відповідно до чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю та галузевих нормативів [28-30].

На підприємстві створено службу охорони праці, яка веде необхідну документацію, розробляє інструкції з охорони праці для кожного виду робіт і обладнання, організовує навчання персоналу, проводить періодичні інструктажі та перевірки знань. Працівники проходять обов'язкові медичні огляди, особливо ті, хто задіяний на роботах підвищеної небезпеки – механізатори, водії, електрики, працівники складів ПММ і хімікатів.

Основними небезпечними та шкідливими факторами на підприємстві є:

- пересування сільськогосподарської техніки в зоні виконання польових робіт;
- підвищений рівень шуму і вібрацій при роботі з двигунами внутрішнього згоряння;
- контакт із агрохімікатами (пестициди, гербіциди);
- небезпека ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції обладнання;
- можливість вибуху або займання під час зберігання та використання пального.



Рис. 4.1. Основні небезпечні фактори на підприємстві

Усі нові працівники проходять вступний інструктаж, далі – первинний та повторний інструктажі на робочому місці. Для ведення обліку застосовується журнал інструктажів, який перевіряється інженером з охорони праці.

У майстернях встановлено витяжні системи вентиляції, джерела освітлення відповідають вимогам СНіП щодо інтенсивності. Робочі зони позначені, евакуаційні виходи обладнані відповідними знаками та вільні для проходу. У зоні стоянки техніки та заправки ПММ є комплекти вогнегасників, ящики з піском, захисні щити.

Підприємство забезпечує працівників спецодягом та засобами індивідуального захисту згідно з переліком, затвердженим наказом. Проте виявлено низку проблем:

- часткова зношеність спецодягу та взуття;
- недостатня кількість засобів захисту слуху;
- відсутність резервних комплектів ЗІЗ на сезонні періоди навантаження;
- слабе забезпечення сучасними засобами пожежогасіння на пересувній техніці.

Загалом рівень охорони праці у господарстві задовільний, але потребує планомірної модернізації матеріально-технічної бази.

4.2 Заходи по поліпшенню умов праці в господарстві

Для покращення умов праці та зниження рівня виробничого травматизму в господарстві ПП «Агровест-Україна» пропонується впровадження комплексу організаційних, технічних та профілактичних заходів:

1. **Оновлення засобів індивідуального захисту (ЗІЗ):** Необхідно закупити нові комплекти спецодягу з вогнетривкими та антистатичними властивостями, сучасні протишумові навушники, захисні окуляри з ударостійкого полікарбонату та рукавиці з підвищеним опором до механічного стирання. Особливо важливо оснастити відповідними ЗІЗ працівників, які мають справу з газовим паливом і технікою високого тиску.

2. **Покращення вентиляційних систем у майстернях:** замінити застарілі витяжки на потужні системи локальної фільтрації із замінними картриджами, що забезпечить очищення повітря від аерозолів, парів олій та зварювальних газів.

3. **Модернізація освітлення на робочих місцях:** заміна ламп розжарювання на світлодіодні джерела з природною температурою світла дозволить зменшити втомлюваність працівників і підвищити точність виконання операцій.

4. **Регулярне навчання персоналу:** запровадити щоквартальні курси з питань безпеки: робота з балонами високого тиску, перша допомога, дії при витокі газу, правила евакуації, методи локалізації загорянь на техніці.

5. **Встановлення автоматичних засобів пожежогасіння в зонах ризику:** оснастити технічні приміщення й складські зони вуглекислотними чи порошковими установками, які автоматично спрацьовують у разі підвищення температури чи появи диму.

6. Організація місць для психологічного та фізіологічного розвантаження: створення відпочинкових зон із вентиляцією, питною водою та місцями для короткочасної релаксації знижує рівень стресу серед працівників.

7. Розміщення наочних матеріалів: на всіх виробничих ділянках мають бути розміщені плакати з правилами техніки безпеки, схемами евакуації, номерами аварійних служб і нагадуваннями щодо використання ЗІЗ.

Запропоновані заходи підвищують рівень безпеки праці, знижують ризик профзахворювань і сприяють формуванню культури охорони праці серед працівників.

4.3 Охорона праці при експлуатації газодизельних тракторів з касетами для заправки

Експлуатація змінної касети для метанової заправки газодизельного трактора пов'язана з підвищеною небезпекою, зокрема через роботу з вибухонебезпечними газами під високим тиском. Для забезпечення безпечного обслуговування і використання цієї системи розроблено низку організаційних та технічних заходів охорони праці.

Основні небезпеки, пов'язані з експлуатацією тракторів з касетами:

- пожежа, вибух газу у разі порушення герметичності з'єднань;
- отруєння газом за високої концентрації газу;
- надлишковий тиск у балонах;
- механічне травмування при підйомі/монтажі касети на трактор;

Технічні заходи безпеки:

1. Конструкція касети:

- балони змонтовані у захисному сталевому кожусі з антикорозійним покриттям;

- кожна касета має редуктор тиску, запобіжний клапан, датчики тиску та температури;

- використано з'єднання із самогерметизувальними клапанами, що виключає витік газу при заміні касети.

2. **Монтаж і демонтаж касети:**

- підйом та встановлення касети виконується тільки із застосуванням гідравлічного підіймача на базі навантажувача;

- працівник повинен знаходитись поза зоною можливого падіння конструкції;

- з'єднання виконується лише після повного фіксування касети на тракторі.

3. **Вимоги до персоналу:**

- до роботи допускаються лише особи, які пройшли навчання та мають посвідчення з експлуатації обладнання, що працює з вибухонебезпечними газами;

- персонал зобов'язаний проходити щорічний інструктаж з охорони праці, а також перевірку знань правил безпеки під час роботи з метаном.

4. **Засоби індивідуального захисту:**

- захисний костюм;

- рукавиці;

- захисні окуляри з боковим захистом;

5. **Організаційні заходи:**

- перед кожною заправкою проводиться зовнішній огляд касети, перевірка тиску, відсутність механічних пошкоджень;

- заправка дозволяється лише у відведених і провітрюваних зонах з антистатичним покриттям підлоги;

- на місці заправки повинні бути наявні вогнегасники (порошкові, CO₂), плакати з інструкціями дій у разі витоку газу.

6. **Контроль і технічне обслуговування:**

- кожна касета проходить техогляд один раз на 6 місяців;

- після 10 років експлуатації балони підлягають обов'язковій заміні;
- ведеться журнал обліку заправок та перевірок.

7. Система аварійного відключення:

- на випадок перевищення тиску або витоку метану передбачено встановлення датчика витоку з автоматичним блокуванням подачі.

Застосування цих заходів дозволяє зробити експлуатацію газометанової касети безпечною, знижує ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій і гарантує збереження життя та здоров'я персоналу.

4.4 Захист навколишнього середовища при експлуатації газодизельних тракторів

Запровадження газодизельних тракторів із швидкозамінними касетами є не лише економічно доцільним, а й екологічно вигідним кроком у системі сучасного агровиробництва. Використання природного газу, як додаткового або основного пального дозволяє значно зменшити негативний вплив на довкілля.

Основні аспекти захисту навколишнього середовища:

1. **Зниження викидів забруднюючих речовин:** у порівнянні з традиційними дизельними тракторами, газодизельні агрегати виділяють менше оксидів азоту (NO_x), твердих частинок (PM), оксидів сірки та вуглецю. Метан має більш чисте згорання, що суттєво зменшує екологічне навантаження, особливо при тривалих роботах на полях поблизу населених пунктів.

2. **Зменшення викидів CO_2 :** газоподібне паливо має вищий водневий вміст, що забезпечує менший вуглецевий слід. У середньому зниження викидів CO_2 при частковому заміщенні дизеля метаном становить до 25%.

3. **Відсутність ризику розливу рідкого пального:** метан знаходиться в стисненому стані у герметичних балонах, що виключає забруднення ґрунту, підземних вод і навколишнього середовища при витоку. На відміну від

дизпалива, витік якого може спричинити тривале забруднення, у разі розгерметизації метан просто випаровується.

4. **Менший рівень шумового забруднення:** при використанні газового палива робота двигуна менш гучна. Це особливо важливо для збереження біорізноманіття в польових умовах та покращення умов праці механізаторів.

5. **Контрольоване зберігання та транспортування:** касети з метаном зберігаються у спеціальних контейнерах, які не мають витоків, не виділяють запахів, не утворюють залишків, що полегшує утилізацію та зменшує потребу у складних фільтраційних системах.

6. **Скорочення викидів у транспортному ланцюгу:** завдяки мобільності касетної системи, скорочується кількість поїздок на заправку, що зменшує логістичне навантаження та супутні викиди від транспортування.

Таким чином, впровадження газодизельних тракторів з касетною заправкою дозволяє зменшити техногенне навантаження на довкілля, покращити санітарно-гігієнічну ситуацію в зоні робіт та сприяти впровадженню принципів сталого розвитку в аграрному секторі.



Рис. 4.2. Основні аспекти захисту навколишнього середовища

4.5 Висновки

1. Стан охорони праці у господарстві ПП «Агровест-Україна» відповідає вимогам чинного законодавства, проте потребує модернізації ЗІЗ, оновлення вентиляції, покращення пожежної безпеки.

2. Запропоновано конкретні заходи щодо покращення умов праці, які дозволяють підвищити рівень безпеки та зменшити виробничий травматизм.

3. При розробці змінної касети для метанової заправки газодизельного трактора враховані всі критичні аспекти безпеки від конструкції до правил експлуатації.

4. Експлуатація газодизельної техніки сприяє зниженню шкідливих викидів, мінімізує ризик забруднення ґрунтів і атмосферного повітря, а також зменшує споживання викопного дизпалива.

5. Запропоновані технічні рішення сприяють не лише енергоощадності, а й підвищенню екологічної відповідальності господарства.

Розділ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

З метою визначення доцільності впровадження альтернативного енергоносія у вигляді стисненого природного газу (СПГ) для сільськогосподарських тракторів МТЗ-82,1 було проведено порівняльний аналіз основних техніко-економічних показників [31] за двома експлуатаційними сценаріями: базовим (традиційне дизельне паливо) та проектним (дизель + 70% СПГ).

У базовому варіанті розглядається використання тракторів МТЗ-82,1 з дизельним двигуном Д-243 у штатному режимі. У проектному — передбачається часткове заміщення дизельного палива стисненим природним газом при збереженні дизельного запалювання. Таке технічне рішення дає змогу суттєво знизити витрати на паливо за рахунок використання більш дешевого газу, зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу та підвищити енергетичну ефективність агрегатів.

Разом з тим, повна оцінка економічної ефективності вимагає врахування витрат на створення або адаптацію відповідної інфраструктури: заправних станцій, газових модулів, систем безпеки та обслуговування балонів. Оскільки на момент розрахунків підприємство не має досвіду експлуатації газобалонної техніки, ці показники залишаються орієнтовними. Варто також зазначити, що економічна доцільність газифікації техніки в значній мірі залежить від стабільності цін на дизельне паливо та СПГ.

Для розрахунків прийнято, що в господарстві планується переведення на газоподібне паливо трьох тракторів МТЗ-82,1, кожен із яких обладнаний дизельним двигуном Д-243. Вихідні дані до розрахунку наведено в таблиці 5.1.

5.1 Економічні розрахунки ефективності виконаного удосконалення

Для комплексної оцінки доцільності модернізації парку тракторів у господарстві проведено розрахунок сумарного економічного ефекту з урахуванням середньорічного напрацювання машин та середніх витрат

пального. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити потенційний рівень економії паливно-мастильних матеріалів при переході на змішане дизельно-газове живлення.

У таблиці 5.1 наведено вихідні дані по трьох тракторах МТЗ-82,1, які планується переобладнати на роботу з використанням стисненого природного газу. Враховано середню річну напрацювання кожної машини, питомі витрати палива/

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показники	Позн.	Значення
Об'єкт удосконалення	-	МТЗ-82,1
Кількість, шт.	N	3
Річне напрацювання, одним трактором мото-год.	-	900
Питома витрата палива двигуна, г/кВт·год	g_n	225,8
Середня річна витрата палива одним трактором, кг/рік	$C_{дп}$	9350
Інвестиції в переобладнання одного трактора, грн	B_n	41200
Вартість дизеля, грн/кг	$к$	50,8
Вартість газу, грн/м ³	$к_2$	34,6

Розрахунок витрат на пальне:

$$C_{пб} = C_{дп} \cdot к = 9350 \cdot 50,8 \cdot 3 = 1424940 \text{ грн}, \quad (5.1)$$

де $C_{дп}$ – річні витрати дизеля одним трактором, кг;

N - кількість тракторів, шт
 k – вартість дизеля, грн./кг.

Розрахунок витрат палива після модернізації двигуна ММЗ-Д-243 здійснюється з урахуванням того, що 70% дизельного пального заміщується стисненим природним газом. Врахуємо що за енергетичним еквівалентом, 1 м³ газу відповідає 1 кг дизельного палива..

Тоді витрати на пальне газодизеля визначимо за формулою:

$$C^2_{III} = C^2_{дп} + C^2_{г}, \quad (5.2)$$

де $C^2_{дп}$ - вартість витрат рідкого палива, грн;

$C^2_{г}$ - вартість витрат на газ, грн.

$$C^2_{дп} = 0,3 \cdot C_{дп} \cdot k_2 \cdot N = 0,3 \cdot 9350 \cdot 50,8 \cdot 3 = 427482 \text{ грн}, \quad (5.3)$$

$$C^2_{г} = 0,7 \cdot C_{дп} \cdot k_2 \cdot N = 0,7 \cdot 9350 \cdot 34,6 \cdot 3 = 679371 \text{ грн}, \quad (5.4)$$

де k_2 – вартість одного м³ газу з урахуванням накладних витрат;

Тоді сумарні витрати газодизеля складуть:

$$C^2_{III} = 427482 + 679371 = 1106853 \text{ грн}.$$

Загальні інвестиції в переобладнання техніки:

$$H = B_n \cdot N = 41200 \cdot 3 = 123600 \text{ грн}, \quad (5.5)$$

де B_n – інвестиції в переобладнання трактора, грн.

Економічний ефект після проведеної модернізації визначимо за рівнянням:

$$E = C_{\text{ПБ}} - C_{\text{ПШ}} = 1424940 - 1106853 = 318087 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Термін окупності проекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{H}{E} = \frac{123600}{318087} = 0,38 \text{ року} \quad (5.7)$$

Результати розрахунку наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 Економічні показники проекту

Показники	Варіанти		Проектний варіант в (+/-) до базового
	Базовий	Проектний	
Об'єкт удосконалення	МТЗ-82,1	МТЗ-82,1-У	-
Кількість тракторів, шт	3	3	-
Річні витрати на дизель, грн	1424940	427482	-997 458
Річні витрати на метан, грн.	-	679371	679371
Загальні витрати на паливо, грн	1424940	1106853	-318087
Інвестиції на переобладнання, грн	-	123600	123600
Економічний ефект проекту, грн	318087		
Термін окупності проекту, року	0,38		

5.2 Висновки

У результаті проведеного техніко-економічного аналізу встановлено, що впровадження газодизельної технології на базі сільськогосподарських тракторів МТЗ-82,1 з дизельним двигуном Д-243 дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати на паливо за рахунок заміщення до 70 % дизельного пального стисненим природним газом.

Розрахунки показали, що при середньому річному напрацюванні 900 мото-годин на один трактор та питомій витраті пального 9350 кг/рік, у базовому варіанті сумарні витрати на дизельне паливо для трьох тракторів становлять 1 424 940 грн. Після модернізації й переходу на змішане газодизельне живлення витрати на дизель скорочуються до 427 482 грн, а витрати на газ становлять 679 371 грн. Таким чином, загальні річні витрати на паливо зменшуються до 1 106 853 грн, що забезпечує економію в розмірі 318 087 грн/рік.

Загальні інвестиційні витрати на переобладнання трьох тракторів складають 123 600 грн, що є помірною сумою з огляду на обсяг очікуваної економії. Відповідно до розрахунків, строк окупності проекту становить лише 0,38 року, що свідчить про високу ефективність та доцільність такого технічного рішення в умовах сучасного агропромислового виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено питання підвищення ефективності використання газобалонних тракторів шляхом розробки конструкції змінних касет для швидкої заправки стисненим метаном. На основі аналізу господарської діяльності встановлено, що витрати на традиційне дизельне паливо є однією з найбільш вагомих статей в агровиробництві. У зв'язку з цим актуальним є впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема природного газу.

2. У технологічному розділі було обґрунтовано вибір об'єкта модернізації трактора МТЗ-82.1 та розглянуто доцільність його переведення на газодизельний цикл. Запропоновано технічне рішення у вигляді конструкції касетного блоку з балонами, що забезпечує можливість оперативної заміни в польових умовах без потреби в стаціонарній заправці.

3. У конструктивно-розрахунковій частині виконано міцнісні розрахунки балонів і перевірено вплив додаткової маси на стійкість трактора. Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованої системи, яке показало скорочення витрат на паливо, а також зниження загальних експлуатаційних витрат. Розрахунковий термін окупності впровадження системи складає менше одного року.

4. У розділі з охорони праці визначено основні ризики, пов'язані з експлуатацією газобалонної техніки, та запропоновано відповідні заходи безпеки. Окрему увагу приділено питанню екологічної доцільності переходу на метан як чистіше паливо.

5. Загалом в роботі підтверджено ефективність застосування змінних касет для заправки тракторів метаном, що дає змогу значно підвищити енергетичну автономність господарства, скоротити витрати, а також сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля. Строк окупності проекту становить лише 0,38 року, що свідчить про високу ефективність та доцільність такого технічного рішення в умовах сучасного агропромислового виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корпач А.О. Аналіз та перспективи використання газоподібних видів палива для двигунів внутрішнього згорання / Корпач А.О., Петриченко Б.В., Лазейкін Є.Г.// ВНТУ. – 2021. – №23 – С. 223-226.
2. https://www.nefterynok.info/novosti/ukrana-u-2024-r-zblshila-vidobutok-gazu-na-22?utm_source=chatgpt.com
3. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-2006-%D1%80#Text>
4. Звітна документація про роботу ТОВ «Крупа І К» за 2022-2024 рік.
5. Метан – як моторне пальне. Переваги і недоліки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.oilgasexpo.com/ru/uploads/2016.pdf>.
6. ТРАКТОР МТЗ-82.1 <https://agrotehpartner.com/ru/product/traktor-mtz-82-1/>
7. Двигун Д-243.91. <https://grutek.com/dvigatel-uk/dvigateli-kpp-reduktory-v-sbore-uk/dvigun-mtz-82-80-d243.91k-81-k.s.-iz-obladnanniam-vi-vo-mmz-uk/?srsrtid=AfmBOorkwJ4qOWcXTWTsuNXSxJMMrzKkKehTIPeNN4cT0qJUqxxLsTVC>
8. Кухаренко П.М., Бабич О.С., Улексін В.О. Результати експлуатаційних випробувань газобалонних автомобілів КрАЗ-257./Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Випуск 3/2002 (14). С. 37-38.
9. . Улексін В.О. Робота автотракторних дизелів на газі / Улексін В.О, Бабич А.С., Кухаренко П.М. – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2006. – 126с.
10. Трактор Т-150К з двигуном ЯМЗ-236, переобладнаним на газодизельний режим роботи/Звіт за результатами дослідних випробувань. – Дослідницьке, 2004. 11 с.
11. Колісник Ю.І., Долганов К.Є., Лісова А.А. Система живлення та регулювання для переобладнання дизелів у газодизелі. Двигунобудування. 1999. № 1. С. 37-40.
12. Конвертація дизельного двигуна <https://autoexpert-consulting.com/stati/systemy-auto/9050-vseyadnyj-dizel-prokormit-deshevle.html>.

13. Інструкція з експлуатації трактора МТЗ-82 з двигуном Д-240, що працює за газодизельним циклом. НВФ "ІНГАЗ". Київ, 2000. 22 с.
14. Газодизельні автомобілі КрАЗ-258Б1, -260В, -6510/Загальні вимоги до монтажу та експлуатації газодизельної апаратури, технічний опис, обслуговування. ТОВ «ЕКСОДУС». Дніпропетровськ, 2000. 34 с.
15. Н а к а з 06.12.2005 N 376 Про затвердження Інструкція щодо вимог пожежної безпеки під час проектування автозаправних станцій <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0291-06#Text>
16. Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС) <http://snpo.ua/produksiya/komplektni-obyekti/komplektni-ob-yekti-dlya-gazovoyi-promislovosti/avtomobilni-gazonapovnyuvalni-kompresorni-stantsiyi-agnks-2/>
17. <https://picclick.com/Brand-New-Fuelmaker-FMQ-8-36-BRC-CNG-Natural-Gas-253085184066.html>
18. Мобільний заправщик КрАЗ-ПАГЗ 3000 <http://autometan.com.ua/products/pagz3000/>
19. Заправник з активним методом заправки газу ПГАЗ-1200-К https://www.researchgate.net/figure/Equipment-for-mobile-CNG-stations-a-mobile-methane-refueling-b-CNG-cylinders-for-CNG_fig2_291824087
20. Газобаллонний трактор ЮМЗ-6. В.О. Улексін. Трактори та сільськогосподарські машини, 2001 № 10-11. С.25 - 27.
21. New Holland Т6 на метані. <https://ifarming.ua/itehnologii/biofarming/dyzel-chy-ye-rozumna-ya-comu-alternatyva>
22. Перший водневий трактор у Нідерландах <https://fuelcellsworks.com/news/the-first-hydrogen-tractor-in-the-netherlands>
23. Васільєв, Ю. М. Газозаправка транспорту / Ю. М. Васільєв, О. І. Гриценко. - К.: Надра, 1995. - 447 с.15.
24. Бабич О.С., Кухаренко П.М., Улексін В.О. Регулятор подачі газу в газодизель./Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск 8 "Підвищення надійності відновлюємих деталей машин". Том 1. Харків, вид. ЧП Червяк, 2001. С.130-133

25. Охмат П.К., Мельниченко В.І. Основи теорії та розрахунку трактора і автомобіля: Курс лекцій. Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2013. 340 с.
26. Теслюк Г.В., Мельниченко В.І., Бойко В.Б., Лепеть Є.І. Короткий курс лекцій з дисципліни «Трактори і автомобілі». Розділ «Основи теорії тракторів і автомобілів».- Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2020.- 319 с.
27. Павловський М. А. Теоретична механіка: Підручник. – Київ.: Вид. Крокус, 2002. – 512 с
28. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
29. «Закон України «Про охорону праці». Закон введено в дію з дня опублікування – 24.11.1992 року N 2695-ХІІ)»
30. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.
31. Л.А. Вагонов, М.В. Бондаренко. «Економічна ефективність експлуатації вітчизняних автомобілів та чинник підвищення їхньої конкурентоспроможності». 2015. Ефективна економіка, № 1, с. 33-37.

Додатки

Додаток А
Вихідні дані для розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Об'єкт удосконалення		Трактор МТЗ-82.1
Значення технологічних зазорів між боковими частинами балонів, мм.	L_m	50
Технологічний зазор між балонами, мм	H_{m1}	60
Технологічний зазор між балонами і верхньою та нижньою частиною касети, мм	$H_{m2},$ H_{m3}	40 40
Технологічні зазори між балоном і каркасом касети, мм	B_{m1}	40
Каркас касети		Профільна труба 30X30X2 Сталь 45
Витрата газу, через трійник, м ³ /год	Q_z	10
Маса одного метра погонного труби профільної 30X30X2 кг/м.	m_m	2,5
Умови роботи	-	Польові, важкі
Тип балона	-	CNG2-G-406-100-20B
Об'єм одного балона, л	V	100
Робочий тиск, МПа	P_6	20
Маса порожнього балона, кг	m_6	49
Довжина Балона, мм		980
Діаметр балона, мм		406
Кількість балонів у касеті, шт	n_6	2
Температура навколишнього середовища, К	T	293
Газова стала, Дж/(моль·К)	R	8,314
Швидкість потоку метану, м/с;	v	35

Додаток Б
Технічна характеристика балонів

№	Тип балона	Об'єм, л	Робочий тиск, МПа	Маса порожнього, кг	Маса з газом, кг	Орієнтовна кількість метану, кг	Енергосміність, МДж	Маркування
1	Тип 1 (сталь)	20	20	18	~24	~6	~160	Worthington 20L-200
2	Тип 2 (сталевий корпус, обмотка)	40	20	32	~42	~10	~325	ЕКС СNG-40/20MPa
3	Тип 2(сталевий корпус, обмотка)	100	20	49	~66	16	~675	CNG2-G-406-100-20B
4	Тип 3 (алюмінієвий сплав, повна обмотка)	50	20	40	~52	~12	~350	Hexagon Lincoln T3-50
5	Тип 4 (повністю композитний)	80	20	58	~72	~16	~650	Quantum Q-lite 80L
6	Тип 4 (повністю композитний)	100	20	72	~90	~18–20	~675	Faber CHV 100/20

Додаток В

Технічна характеристика швидкоз'ємних муфт CGD 06 / CGD 10,
Dixon CNG-Series Quick Disconnect (8CNGF8-S), HC308 Ultra-Fast Fill

Параметр	Значення
Тип з'єднання	Швидкознімне байонетне або кулькове
Максимальний робочий тиск	20–25 МПа (200–250 бар)
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь AISI 316L або латунь
Ущільнення	FKM (Viton), PTFE або PEEK
Діаметр умовного проходу (DN)	DN 6, 10, 12, 16 (залежно від типу рукава)
Тип блокування	Автоматичне фіксування з подвійною безпекою
Стійкість до газу	Сертифіковано для метану (CNG, ISO 15500, ECE R110)
Температурний діапазон	-40°C...+120°C
Кількість циклів з'єднання	100000

Додаток Г

Запірна та з'єднувальна арматура, контрольновимірювальні прилади

Елементи	Параметри
Робочий тиск	20 МПа
Середовище	Стиснутий природний газ- Метан
Заправний вентиль	VMAT5412 з зворотнім клапаном
Поворотний запірний кран високого тиску	VM04 NGV2-01
Швидкоз'ємна муфта	HC308 Ultra-Fast Fill
Тип манометра	Радіальний МТП-160 або аналогічний з класом точності 1,5
Різьба приєднання	G1/2"
Трійник	Swagelok SS-810-3, Raccord G1/2 High Pressure Tee