

ДНІПРОВСЬКИЙ 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 дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Підвищення ефективності експлуатації тракторів
загального призначення шляхом заміщення частини
дизельного палива метаном**

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

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гречка Олександр Вікторович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2024 р.

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

Гречка Олександр Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності експлуатації тракторів загального призначення шляхом заміщення частини дизельного палива 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

«12» листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали наукової роботи з тематики «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів» номер рестрації 0108U008380. Технічні характеристики тракторів загального призначення

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

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 3.09.2024р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 12.09.2024 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 22.10.2024р.	Виконано
3	Експериментальний	до 15.11.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 27.11.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 04.12.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 9.12.2024 р.	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Гречка О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бойко В.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

№ п/п	форм	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
			<i>Текстові документи</i>		
<i>A</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>83</i>	
			<i>Демонстраційні матеріали</i>		
<i>A</i>			<i>Мета і задачі досліджень.</i>		
<i>A</i>			<i>Теоретичні дослідження</i>		
<i>A</i>			<i>Експериментальні</i>		
<i>A</i>			<i>Охорона праці</i>		
<i>A</i>			<i>Економічні показники</i>		
<i>A</i>			<i>Висновки</i>		

№ п/п

форм

Позначення

Найменування

Кіл.

Приміт.

Взам. инв. №

Инд. № дубл.

Дата

Дата

Инв. № подл.

52.ДР.030.000.000.РД

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
<i>Розроб.</i>	<i>Гречка О.В.</i>			
<i>Перев.</i>	<i>Бойко В.Б.</i>			
<i>Т. контр.</i>				
<i>Н. контр.</i>	<i>Золотовська</i>			
<i>Зат.</i>	<i>Теслюк Г.В.</i>			

Відомість дипломної роботи

Літ.	Арк.	Аркушів
	<i>5</i>	<i>83</i>
<i>ДДАЕУ</i> <i>МГАІ-1-23</i>		

РЕФЕРАТ

Гречка О.В. Підвищення ефективності експлуатації тракторів загального призначення шляхом заміщення частини дизельного палива метаном/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності експлуатації тракторів загального призначення шляхом заміщення частини дизельного палива метаном.

Замінюючи частину дизельного пального метаном, можна зменшити залежність господарства від нафтопродуктів. Використання більш економічного метану дозволить скоротити експлуатаційні витрати завдяки різниці в цінах між дизелем та газом.

Робота виконана згідно напрацювань науковців кафедри ТСГМ за науковою тематикою «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів». В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз розміщення газобалонного обладнання на базі тракторів загального призначення. В другому розділі проведено теоретичні дослідження стійкості трактора з газобалонним обладнанням, в агрегаті з навісною машиною плугом ПЛН-8-35. В третьому розділі проведено експериментальні дослідження газодизельного трактора загального призначення К-700А в агрегаті з сільськогосподарськими машинами. В четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці при експлуатації газодизельних тракторів загального призначення. В п'ятому розділі доведено економічну ефективність виконаної кваліфікаційної роботи.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Аналіз систем подачі пального конвертованих дизелів для роботи за газодизельним циклом	10
1.2 Особливості застосування природного газу в ДВЗ	16
1.3 Особливості експлуатації газобалонних тракторів	17
1.4 Особливості технічного обслуговування газобалонних тракторів	21
1.5 Висновки у розділі	22
1.6 Мета і завдання досліджень	23
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	24
2.1 Теоретичне дослідження розташування центра тяжіння трактора загального призначення	24
2.2 Теоретичні дослідження центра тяжіння касети з балонами	32
2.3 Теоретичні дослідження центру тяжіння навісного знаряддя	33
2.4 Теоретичні дослідження граничних статичних кутів стійкості машино-тракторного агрегату з ГБО	35
2.5 Висновки	45
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	46
3.1 Об'єкт та програма досліджень	46
3.2 Обладнання та прилади для досліджень	49
3.3 Методика та результати досліджень екологічних показників газодизеля	51
3.4 Методика та результати експериментальних досліджень стійкості газобалонного трактора К-700А з навісним знаряддям	56
3.5 Висновки	61

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Особливості охорони праці при експлуатації газобалонних тракторів	63
4.2 Рекомендації щодо вдосконалення техніки безпеки та технічного обслуговування	65
4.3 Висновки	74
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	75
Висновки	78
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	84

ВСТУП

Актуальність кваліфікаційної роботи. Все більше в якості палив дизельних двигунів внутрішнього згорання на далі ДВЗ використовують альтернативні палива наприклад стиснутий газ (метан). Використання данного палива в якості моторного підвищує ефективність механізації основних процесів в сільському господарстві за рахунок менших витрат на пальне в порівнянні з дизельним паливом, поліпшує екологічні показники за рахунок зниження рівня димності дизеля. Реалізувати роботу дизельного ДВЗ на стиснутому газі можливо шляхом заміщення дизеля газом не більше 70 відсотків від загального об'єму палива. Тобто робота конвертованого ДВЗ буде здійснюватися за газодизельним циклом.

Для широкого застосування тракторів загальног призначення з газобалонним обладнанням у сільському господарстві необхідно провести розрахунки техніко-економічних та екологічних показників таких тракторів, обґрунтувати вимоги безпеки, а також розробити заходи щодо безпеки техніки та їх технічного обслуговування.

Ціль роботи – підвищення ефективності експлуатації тракторів загального призначення шляхом заміщення частини дизельного палива метаном.

Задачі досліджень: для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз та теоретичні дослідження стійкості трактора з газобалонним обладнанням, в агрегаті з навісними сільськогосподарськими машинами ;
- провести експериментальні дослідження газодизельного трактора загального призначення в агрегаті сільськогосподарськими машинами;
- розробити заходи з охорони праці при експлуатації газодизельних тракторів;

- провести техніко-економічні розрахунки запропанованого рішення.

Об'єкт дослідження – трактор К-700А оснащений газобалонним обладнанням на далі ГБО.

Предмет дослідження є стійкість, економічність, безпека і екологічність при експлуатації тракторів загального призначення газобалонним обладнанням.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

– вперше встановлено теоретичні залежності для визначення стійкості газобалонного трактора К-700А з навісними знаряддями ;

– вперше проведено експериментальні дослідження екологічних показників газодизеля;

Теоретична та практична значущість роботи:

- Розроблено методуку для оцінки стійкості тракторів загального призначення в агрегаті з навісним обладнанням та ГБО.

- Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації газобалонних тракторів в агрегаті сільськогосподарськими машинами.

- У процесі експлуатації проведено аналіз екологічних показників двигунів тракторів, які працюють за газодизельним циклом.

Методологія та методи дослідження. Дослідження виконані з використанням відомих положень теоретичної механіки, мобільних енергетичних засобів та сільськогосподарських машин, що дозволяють визначити статичну стійкість трактора в агрегаті з навісними машинами.

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

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблеми, які пов'язані з постійним ростом вартості палив нафтового походження в останні роки і в майбутньому сприяють поширенню альтернативних палив, а саме природного газу, біопалив та водню. Використання різних видів альтернативного палива в транспортній галузі сприяє заміщенню нафтових енергоресурсів, істотно розширює базу сировини для виробництва моторних палив, а також спрощує питання забезпечення паливом транспортних засобів та стаціонарних установок. Можливість створення альтернативних палив із заданими параметрами та фізико-хімічними властивостями відкриває шлях до вдосконалення робочих процесів у дизельних двигунах, що, своєю чергою, підвищує їх екологічну ефективність та економічність [1].

В 2001 році Європейською комісією було схвалено три альтернативні заміни моторним паливам і в першу чергу це використання природного газу [2].

Дослідження конвертування дизельних ДВЗ присвячені роботи Г . Н. Абрамовича, А . І. Гайворонського, Б . П. Загородських, В. А. Лушко, В.О. Улексіна, О.С. Бабича та ін.

1.1. Аналіз систем подачі пального конвертованих дизелів для роботи за газодизельним циклом.

В Україні ринок природного газу все більше розвивається і починає охоплювати більшу кількість тракторної техніки. В зв'язку з цим збільшується та покращується інфраструктура. Це гарні передумови для розвитку ГБО на сільхоз техніці.

Існуючі системи живлення газодизелів можна розділити на такі види:

- Електронні системи з важільно-механічним регулюванням подачі газу;
- Інжекторні системи з центральним упорскуванням газу;

- Інжекторні системи з розподіленим упорскуванням газу.

Електронні системи з важільно-механічним регулюванням подачі газу
[3].

Цей клас систем представлений фірмами "Ловато", "Ланді Ренцо" (Італія), GFI, ECO (Канада), Nippon (Японія) та ін. Їхні системи застосовуються на двотактних та чотиритактних двигунах, використовується для автомобілів великої вантажопідйомності та автобусів.

Широке використання отримали блоки електронного управління, які забезпечують більше функціональних можливостей:

-регулювання витрати кількості газу, який надходить не тільки за умови розрідження у впускному колекторі, але і за сигналами λ - зонда, датчика температури ДВЗ, повітря і газу;

-підтримка стійких обертів холостого ходу шляхом регулювання витрати повітря або палива з використанням шибєрних або лопатєвих пристроїв на електроприводі, керування якими здійснюється з урахуванням даних датчика частоти обертання КВ.

Роз'юнута система не вирішує питання забезпечення рівної подачі газу по циліндрах ,але використання мехатронної системи забезпечила стабільність роботи її складових.

Інжекторні системи з центральним упорскуванням газу

Системи уприскування із центральним введенням газу в камеру згоряння забезпечують точну подачу палива, оптимізуючи процес його згоряння. Це рішення сприяє ефективнішому використанню газу як палива та підвищує продуктивність двигуна, водночас знижуючи викиди шкідливих речовин в атмосферу. Система оснащується мікропроцесорним блоком керування подачі газу. Основними перевагами таких систем є: стабільна подача газу, мінімальне доопрацювання двигуна, високі енергетичні показники, сталість основних параметрів системи відносно часу;

Основними виробниками таких систем є фірми GFI, Nippon (Японія); Woodward, AFS (Канада); "Мерседес-Бенц" (Німеччина), VOLVO та SKANIA (Швеція).

У сільському господарстві доцільно використовувати газодизельний цикл, оскільки він дозволяє двигунам працювати як на газоподібному, так і на стандартному дизельному паливі. Це забезпечує більшу гнучкість у використанні тракторів, а також дозволяє збільшити час їх роботи без необхідності частого дозаправлення. [3].

На особливу увагу заслуговує ежекторна газопаливна система (рис. 1.1) з механічним всережимним регулюванням подачі газу. Вона складається з двох секцій 2, 3 з дев'яти сталевих 50 літрових балонів, на кожній секції з манометрами, пристрій для заправки 7, магістральний вентиль 9, газовий підігрівач 11 до якої підведено теплоносій і систему охолодження двигуна 21, редуктор високого тиску (РВТ) 16, клапан електромагнітний з фільтром 20, редуктор низького тиску (РНТ) 25.

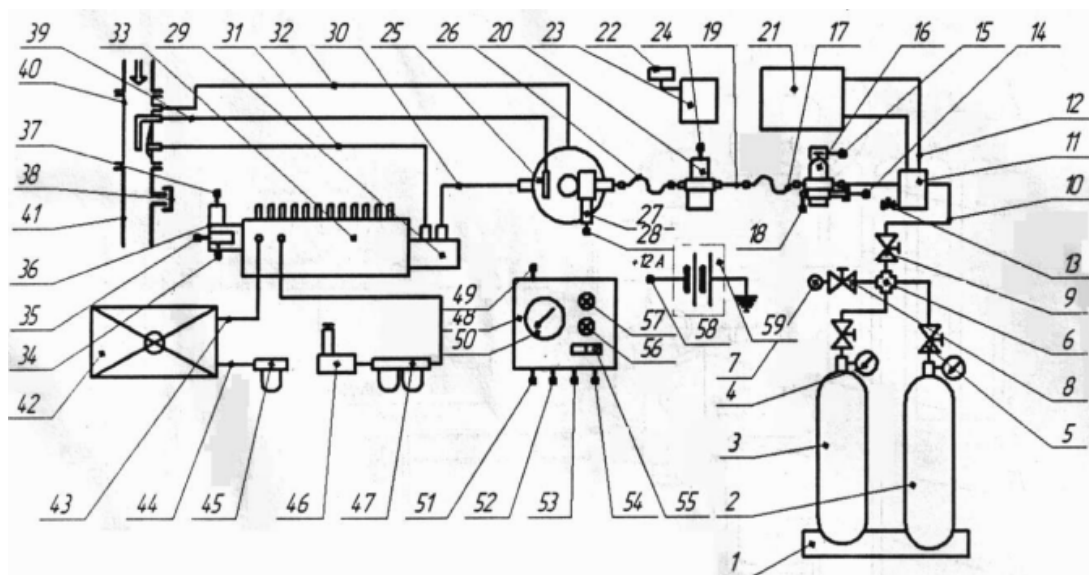


Рисунок 1.1 Схема ежекторної системи подачі газу тракторів загального призначення [1]

Недоліком данної системи є: те що на режимі часткових навантажень газодизель працює на бідній суміші, горіння палива відбувається гірше, що призводить до перевитрати пального та токсичності відпрацьованих газів.

Ефективність системи спостерігається лише на режимах максимального та близьких до нього навантаженнях двигуна.

Відоме конструктивне рішення (рис. 1.2)[4] де вирішено динамічне регулювання подачі газу та дизеля шляхом використання крокового двигуна 9 та дозатора 4 якими керує блок управління 10.

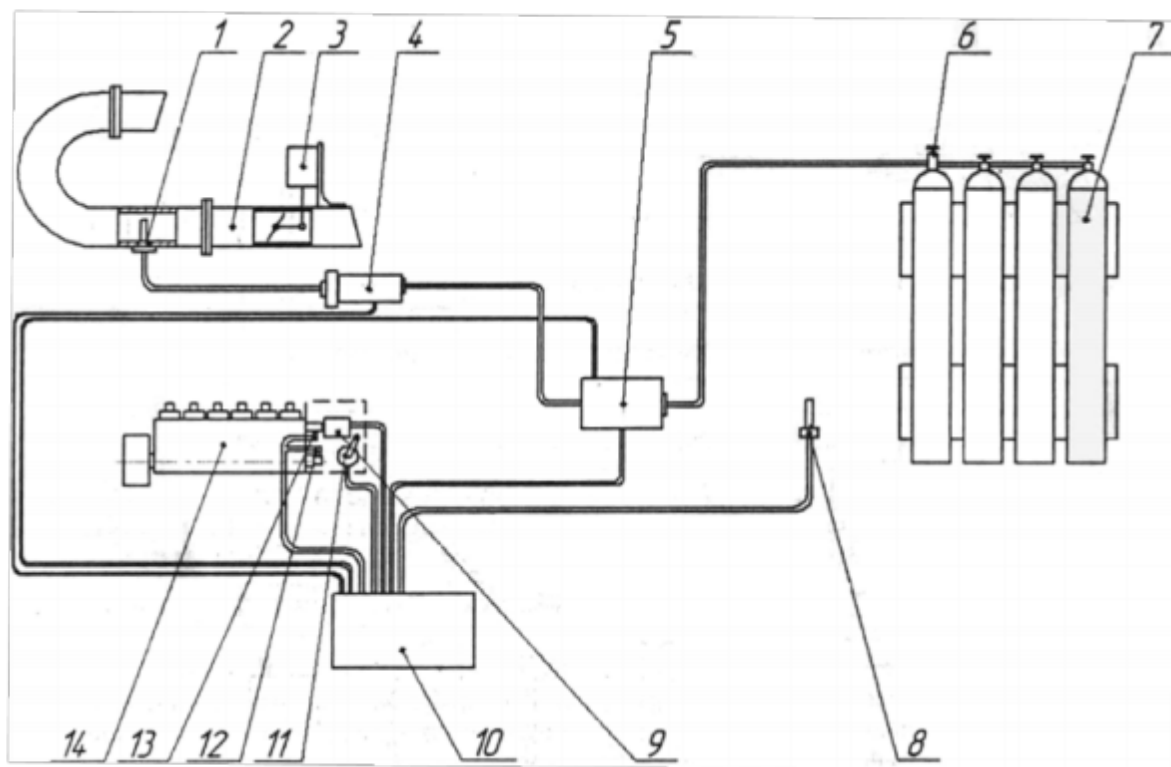


Рисунок 1.2 – Система живлення газодизеля з центральним впорскуванням газу

На кулачковому валу паливного насоса встановлено датчик частоти обертання 11, а на рейці – кроковий електродвигун 9 для її переміщення та датчик положення паливної рейки 13. Важіль керування обладнаний датчиком кутового переміщення. Управління здійснюється від електронного блоку 10, який отримує інформацію з датчика частоти обертання колінчастого валу двигуна 8 і датчика положення важеля управління 11 та встановлює необхідну величину запальної дози дизельного палива (переміщенням рейки паливного насоса) та газу (газовим дозатором). Таким чином, на всіх режимах роботи

двигуна можна встановлювати відповідне співвідношення дизельного палива та газу [4].

На рисунку 1.3 представлена конструкцію системи розподільного упорскуванням газоподібного палива , яка відрізняється від серійних аналогів наявністю газових клапанів, що встановлюються у впускному колекторі навпроти кожного циліндра ДВЗ, яка дозволяє реалізувати індивідуальну подачу газу, та електронне керування паливною рейкою ПНВТ.[5].

Конструкція системи також дозволяє використовувати ефект ежекції, полягає в передачі енергії потоку газу, що подається під тиском через електромагнітний клапан в змішувач, потоку повітря, що надходить з впускного колектора при їх турбулентному змішуванні, тим самим покращуючи наповнення камери згоряння під час циклу всмоктування , тобто збільшує коефіцієнт наповнення камери згоряння, який безпосередньо впливає на потужність двигуна [5].

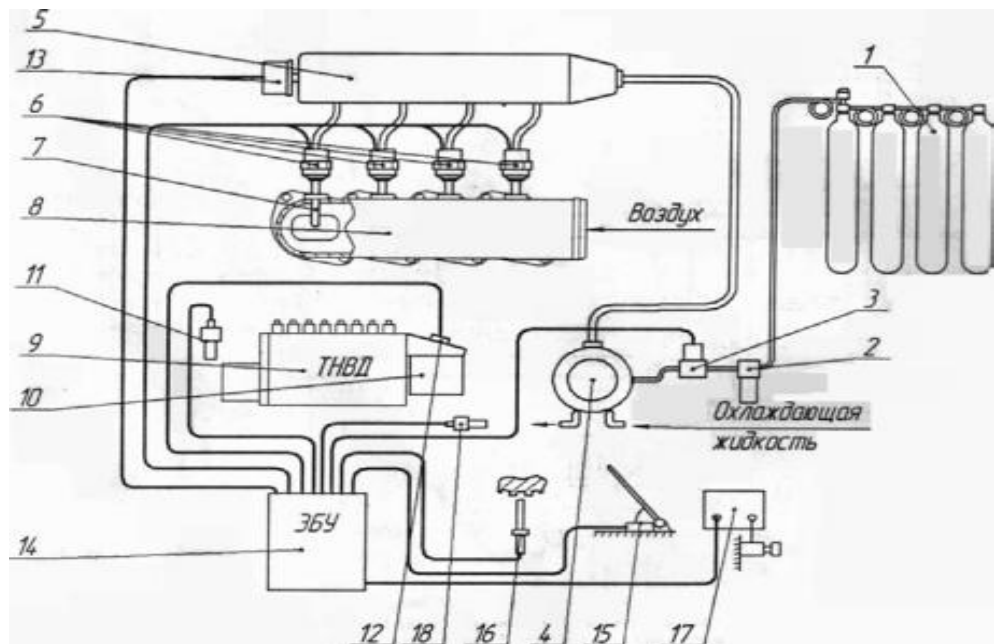


Рисунок 1.3 – Система живлення газодизеля з подачею газу за ежекційним принципом

Для підвищення рівномірності подачі палива в системі застосовано газовий колектор. Його вихідні патрубки розташовані на одній відстані від впускного. Це дозволяє досягти рівного тиску в трубопроводах, що підводять газ до газових форсунок. Крім того, колектор виконує функцію фільтра, що затримує абразивні частинки, що надходять разом із газом.

В Україні поступово просувається програма заміщення палив нафтового походження газоподібними паливами. Більш активно програма розвивається в Дніпропетровській, Харківській та Полтавській області в яких проводиться конверсія з переведення авто транспортного та тракторного парку з дизельними двигунами на газодизельний цикл роботи. В окремих господарствах Дніпропетровщини експлуатують газобалонні трактори ХТЗ-150К, К-701 та автомобілі КрАЗ.

Результати експериментальних досліджень і практичний досвід експлуатації газодизельних сільськогосподарських тракторів та автомобільного транспорту демонструють їхню значну перевагу перед дизельними двигунами, що працюють на газоподібному паливі.

Серед переваг використання стисненого газу в дизельних двигунах варто відзначити економічну доцільність. Сучасні системи подачі газоподібного палива забезпечують запальну дозу в межах 25-30%, що дозволяє замінити до 70% дизельного палива.

Економічна ефективність роботи трактора К-700А, обладнаного системою подачі газу, свідчить про річну економію експлуатаційних витрат у розмірі 630 тис. грн при терміні окупності капіталовкладень 1,04 роки [6]. Розрахунки базувалися на ціні газоподібного палива 35 грн/м³ та дизельного — 50 грн/кг.

Найбільшу ефективність у переході на газоподібне паливо демонструють енергонасичені трактори з двигунами потужністю понад 300 к.с., завдяки суттєвій економії дизельного палива. Водночас зростання вартості газобалонного обладнання дещо знижує економічну доцільність переходу, проте завдяки різниці у вартості палива конверсія двигунів залишається актуальною.

1.2 Особливості застосування природного газу в ДВЗ

Основною перевагою природного газу є його екологічність. Вихлопні гази двигунів, що працюють на цьому паливі, містять мінімальну кількість шкідливих речовин. Природний газ на 91-97% складається з метану — нетоксичного вуглеводню, який при згорянні утворює переважно діоксид вуглецю та воду. Двигуни на природному газі виробляють приблизно на 64% менше оксидів азоту та на 78% менше твердих частинок порівняно з дизельними двигунами, оснащеними каталітичними нейтралізаторами [7,8].

Окрім цього, використання природного газу має й інші переваги. Він практично не містить сірки, яка є шкідливою для здоров'я та сприяє окисленню ґрунтів і водних ресурсів. Загалом, вихлопні гази двигунів на природному газі значно менш небезпечні за бензинові та дизельні аналоги [8].

Аналіз токсичності та димності показав, що газодизелі мають на 42% меншу димність вихлопів порівняно з дизельними двигунами. Концентрація оксидів азоту (NOx) у вихлопах газодизелів знижується на 25%, а викиди CO та CH залишаються майже незмінними [9].

Основний компонент стисненого газу — метан, частка якого повинна бути не меншою за 90% для газу марки А та 85% для марки Б. Вміст важких вуглеводнів та негорючих складових (азот, кисень, діоксид вуглецю) обмежується, щоб уникнути зниження теплоти згоряння палива та запобігти утворенню відкладень у системах. Через значне охолодження газу під час дроселювання можливе утворення кристалів льоду, що вимагає ретельного зневоднення палива. Також контролюється вміст корозійно-активних речовин, таких як сірка та її сполуки [9].

Для покращення згоряння газового палива, зниження викидів NOx при повному навантаженні та CO і CH при частковому навантаженні доцільно застосовувати кількісно-якісний принцип регулювання газодизелів. Це включає

оптимізацію геометричних параметрів паливної апаратури та обмеження коефіцієнта надлишку повітря до оптимальних значень [10].

Таким чином, використання газоподібного палива знижує димність і токсичність вихлопів. Найбільш ефективними вважаються системи подачі з розподіленим впорскуванням газу, проте в літературі бракує даних про їхню відповідність нормам токсичності ЄВРО-3, ЄВРО-4, ЄВРО-5 [10].

1.3 Особливості експлуатації газобалонних тракторів

Особливістю експлуатації тракторів із газобалонним обладнанням (рис. 1.4) є зміщення центру тяжкості, що погіршує їхню стійкість. Це впливає на здатність трактора працювати на поздовжніх і поперечних схилах без ризику перекидання. Стійкість трактора поділяють на поздовжню та поперечну. Її оцінюють за статичними кутами поздовжнього і поперечного ухилів, на яких загальмований трактор без причіпного чи навісного обладнання може залишатися нерухомим, не перекидаючись. Коли трактор нерухомо стоїть на похилій поверхні з кутом нахилу, що дорівнює граничному, можливе перекидання лише під дією сили тяжіння.

Проте під час руху додаткові сили, такі як інерційні чи бокові, можуть посилити ризик перекидання. На практиці колісний трактор, загальмований на схилі або підйомі, може зберігати поздовжню стійкість, але водночас почати сповзати вниз. Це відбувається, коли максимальна гальмівна сила, яку можна реалізувати, недостатня для утримання трактора на схилі [11].



Рисунок 1.4 - Способи розміщення ГБО на тракторі

Сучасні трактори відрізняються універсальністю, яка дозволяє їм виконувати широкий спектр завдань, що відрізняються за технологічними процесами. Вони знаходять застосування у всіх кліматичних зонах та різних ґрунтово-кліматичних умовах. При цьому як сільськогосподарські, так і промислові трактори працюють у змінних умовах, що залежать від типу виконуваних операцій, складу агрегату, стану навколишнього середовища та інших факторів. Таким чином, трактори та сільськогосподарські машини, які використовуються для обробки ґрунту і збирання врожаю, розроблені для виконання конкретних завдань з урахуванням вимог безпеки [12].

Нормативні документи встановлюють мінімальний кут поперечної статичної стійкості для тракторів на рівні 35° (у транспортній комплектації та при стандартній ширині колії). Однак модернізація тракторів, зокрема

встановлення додаткових агрегатів і обладнання, може суттєво вплинути на стійкість як самого трактора, так і всього машинно-тракторного агрегату.

Додавання важкого обладнання зазвичай підвищує центр тяжкості трактора. Наприклад, встановлення восьми газових балонів по 80 літрів кожен на задню платформу трактора ХТЗ-150К піднімає вертикальну координату центру тяжіння на 110 мм і зміщує горизонтальну координату на 296 мм у бік, протилежний напрямку руху. Це зменшує статичні кути поздовжньої та поперечної стійкості, що негативно позначається на безпеці експлуатації [12].

Для тракторів з рамою, що ламається, проблема стійкості ускладнюється їх конструктивними особливостями. При повороті напіврам одна щодо одної в горизонтальній площині стійкість таких тракторів ще більше погіршується. Поперечна стійкість тракторів із шарнірно зчленованою рамою залежить від характеру зчленування секцій та обмежень їх взаємного переміщення, які визначаються конструкцією шарніра [11].

Таким чином, забезпечення стійкості при встановленні додаткового обладнання є особливо важливим завданням для тракторів із шарнірно зчленованою рамою. Згідно досліджень кафедри ТСГМ ДДАЕУ стосовно стійкості газобалонного трактора Т-150К отримані наступні результати представлені на рисунку 1.5.

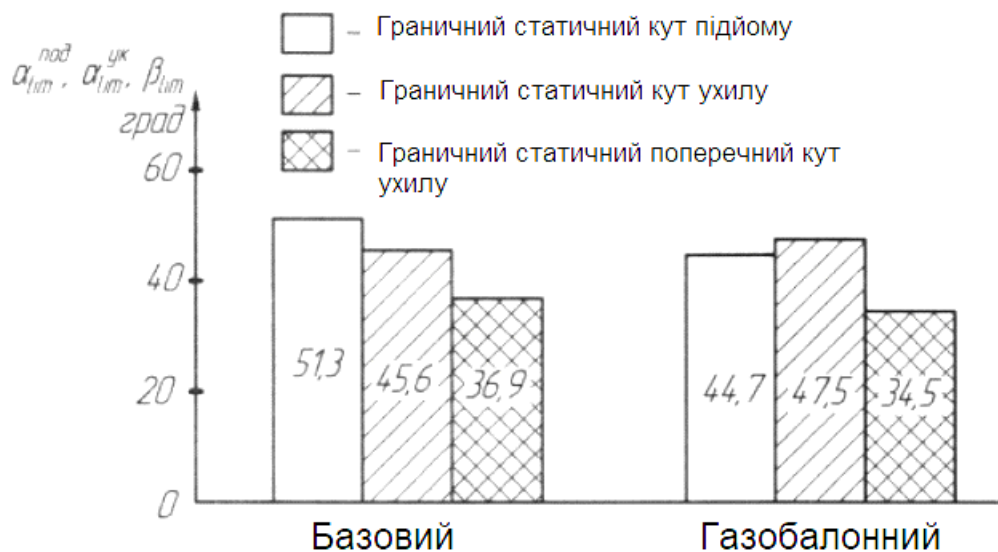


Рисунок 1.5 – Дослідження стійкості трактора Т-150К.

Як видно з рисунка 1.5, усі регламентовані параметри залишаються в межах допустимих значень [11]. Встановлення газових балонів сприяє більш рівномірному розподілу нормальних реакцій між провідними мостами трактора, що покращує його тягово-зчіпні характеристики [13]. Таким чином, вплив газобалонного обладнання на стійкість тракторів є незначним.

Однак при модернізації тракторів, що виконують різноманітні сільськогосподарські роботи як тягові засоби, слід враховувати, що в більшості випадків вони працюють у складі машинно-тракторних агрегатів (МТА). Навісне обладнання, наприклад, сільськогосподарська машина, може суттєво вплинути на характеристики стійкості МТА. Це часто стає причиною нещасних випадків під час експлуатації.

Зокрема, деякі машини, як-от плуги, мають центр тяжіння, зміщений відносно поздовжньої осі трактора. Наприклад, використання плуга в агрегаті «трактор К-700А + плуг ПЛН-8-35» значно зміщує центр тяжкості МТА, що призводить до зменшення статичного кута поперечної стійкості та підвищує ризик перекидання. Це підтверджується частими нещасними випадками під час виконання орних робіт.

Схожа ситуація спостерігається при виконанні транспортних робіт, коли трактор транспортує причіп. Опір руху причепа може суттєво змінити кут поздовжньої стійкості трактора. Хоча ризик перекидання назад є малоймовірним, оскільки втрата поздовжньої стійкості зазвичай передуює втраті стійкості руху та керованості через розвантаження передніх керованих коліс. Ця проблема не стосується повнопривідних тракторів із шарнірно-зчленованою рамою.

Оцінка стійкості трактора в агрегаті з машиною в динаміці є складним завданням через велику кількість факторів, що впливають на стійкість руху системи «трактор-машина». Зокрема, врахування взаємодії між трактором і навісним або причіпним обладнанням у реальних умовах експлуатації значно ускладнює розрахунки.

Однак, оскільки трактори в складі машинно-тракторного агрегату (МТА) зазвичай працюють на низьких швидкостях, динамічні сили, що впливають на стійкість, є відносно невеликими. У зв'язку з цим доцільно зосередитися на оцінці стійкості тракторів із газобалонним обладнанням, що працюють за газодизельним циклом, саме у складі МТА. Це дозволить врахувати специфіку взаємодії трактора з додатковими агрегатами і визначити, як встановлення газобалонного устаткування впливає на стійкість та безпеку роботи всього агрегату.

1.4 Особливості технічного обслуговування газобалонних тракторів

Трактор К-700 є одним із найпотужніших енергонасичених тракторів, що широко використовуються в аграрному секторі. Для зменшення експлуатаційних витрат необхідно оптимізувати його обслуговування. Практика показує, що мінімізація витрат на технічне обслуговування і ремонт можлива за умови впровадження планово-попереджувальної системи, доповненої ефективним використанням діагностичних засобів. Однак алгоритми і технології діагностики тракторів з газобалонним обладнанням ще недостатньо розроблені.

Відмови систем або її елементів, як, наприклад, розгерметизація газового обладнання, мають імовірно-статистичний характер. Момент їх настання передбачити заздалегідь неможливо, а факт відмови фіксується лише після її виникнення. Важливим показником ефективності системи безпеки є час реакції на відмову, який повинен бути мінімальним, ідеально — прагнути до нуля. У реальних умовах цей час є значним, що обмежує ефективність традиційних систем контролю.

Оскільки результати періодичної діагностики актуальні лише на момент її проведення, традиційні методи не дозволяють забезпечити безперервний контроль стану газового обладнання. Враховуючи специфіку газоподібного палива, лише безперервний оперативний контроль герметичності може

ефективно гарантувати безпеку експлуатації. На жаль, у країні відсутні нормативні документи, що регламентують експлуатацію тракторів на компримованому природному газі.

Для належного технічного обслуговування необхідно розробити чіткий перелік операцій для щоденного ТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 та сезонного обслуговування. Газобалонне обладнання має бути адаптоване для проведення цих операцій на високому рівні. Надійність, закладена на етапі проектування, повинна реалізовуватися під час експлуатації, що значно знижує ймовірність раптових відмов.

Заправка тракторів компримованим природним газом здійснюється на автоматичних або мобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС, ПАГС). Час заправки залежить від продуктивності компресора, кількості транспорту та об'єму балонів. Для забезпечення оптимальної послідовності наповнення ресиверів використовується панель пріоритетного розподілу газу. Процес включає три етапи: заповнення ресиверів високого, середнього та низького рівнів.

Однак одним із недоліків є тривалість заправки газом, що вимагає розробки нових методів і пристроїв для її прискорення.

1.5 Висновки

1. В результаті проведеного аналізу встановлено що переведення дизельного двигуна на газодизельний цикл роботи дозволяє замінити від 65 до 70 відсотків дизельного палива газом, що дозволяє зменшити залежність господарства від палив нафтового походження. Та підвищити ефективність експлуатації техніки за рахунок використання більш дешевого газоподібного палива.

2. Використання газоподібних палив знижує токсичність відпрацьованих газів дизеля до норм Євро-4.

3. Експлуатація двигуна з використанням природнього газу підвищує ресурс його роботи.

4. Актуальним буде вирішення питання дослідження трактора К-700 в агрегаті з сільськогосподарськими машинами.

1.6 Мета і завдання досліджень

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації тракторів загального призначення шляхом заміщення частини дизельного палива метаном.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі досліджень:

- провести аналіз та теоретичні дослідження стійкості трактора з газобалонним обладнанням, в агрегаті з навісними сільськогосподарськими машинами ;
- провести експериментальні дослідження газодизельного трактора загального призначення в агрегаті сільськогосподарськими машинами;
- розробити заходи з охорони праці при експлуатації газодизельних тракторів;
- провести техніко-економічні розрахунки запропанованого рішення.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконання технологічних операцій машино-тракторним агрегатом повинно бути безпечним без загрози життю для оператора та оточуючих, особливо при роботі на схилах. Робота на схилах контролюється дотриманням граничного статичного кута на поздовжньому та поперечному ухилі. Ці кути є ключовими параметрами для аналізу поздовжньої та поперечної стійкості тракторів. Згідно загально прийнятих стандартів кут поперечної стійкості повинен не перевищувати 36° [14].

Встановлення ГБО, а саме балонів для зберігання метану, може суттєво вплинути на значення зазначених кутів. Тому для обґрунтування працездатності машинно-тракторного агрегату за різних умов необхідно визначити значення кутів з врахуванням встановленого ГБО.

2.1 Теоретичне дослідження розташування центра тяжіння трактора загального призначення

Трактор К-700А відноситься до енергонасичених колісних тракторів загального призначення, має підвищену прохідність та тяговий класу 50 кН. Призначений для роботи в агрегаті з широкозахватними машинами для виконання різноманітних сільськогосподарських робіт (глибоке розпушування ґрунту, оранка, дискування, культивація, луцення стерні, сівба, боронування та ін.).

Трактора має експлуатаційну вагу в повному спорядженні 12 960 кг. Обладнаний силовою установкою ЯМЗ-238НДЗ (дизельний 8-ми циліндровий двигун) робочим об'ємом 14,87 л та потужністю 300 к.с. Потужність від двигуна на ходову частину з колісною формулою 4x4 передається за допомогою гідromеханічної силової передачі. Два діапазони 8 КПП забезпечують отримання 16 передач для руху в перед та 8 передач назад з швидкістю від 3 до

34 км/год в перед та від 3 до 16 км/год назад. Загальні розміри габаритів трактора наведено на рисунку 2.1.

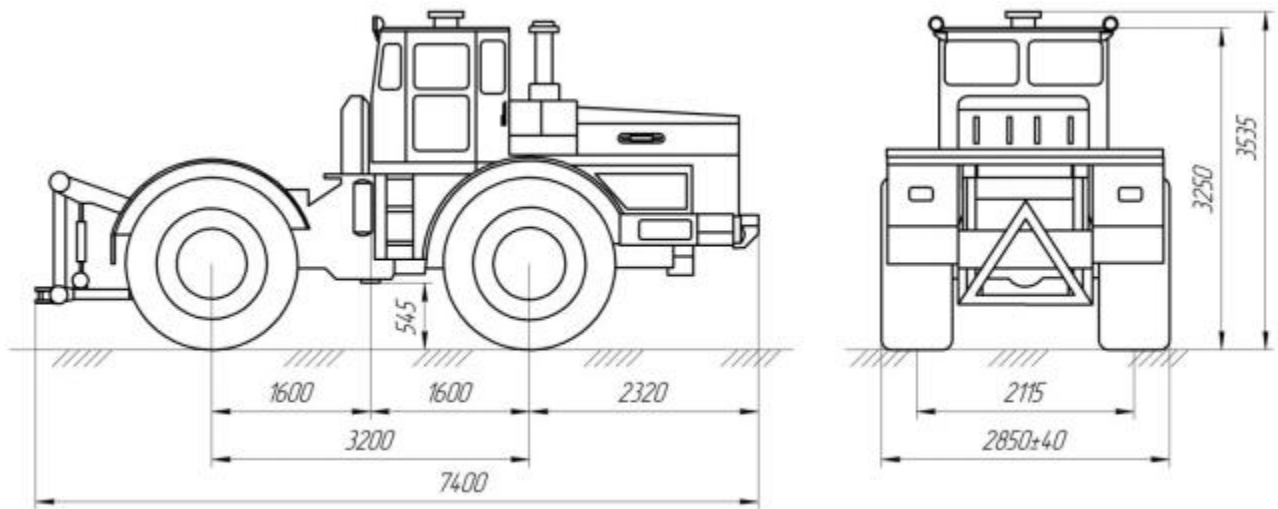


Рисунок 2.1 – Габаритні розміри трактора загального призначення К-700А.

На тракторі встановлено шини розміром 28,1R26, за ширини профіля 752 мм та зовнішнього діаметра шини 1753 мм.

Центр тяжіння визначаємо використовуючи метод вимірювання реакцій що діють на опорні токи трактора:

- в горизонтальному положенні;
- при піднятій передній частині трактора ;
- при піднятій задній частині трактора.

Виконання вимірювань здійснюємо на твердій рівні ділянці з використанням транспортних вагів.

Горизонтальну поздовжню координату визначаємо за реакції F_2 , що діє на передні опорні рушії трактора з урахуванням повздовжньої бази трактора d (рис. 2.2).

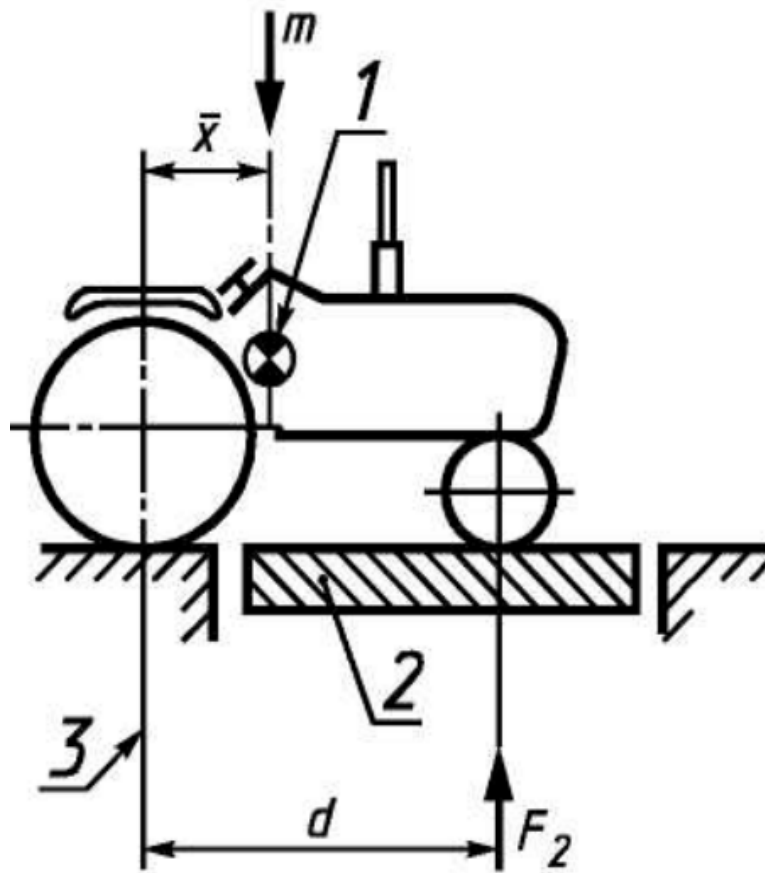


Рисунок 2.2 – Дослідження поздовжньої горизонтальної координати центру тяжіння трактора:

1 – центр тяжіння ЦТ; 2 – транспортні ваги; 3 – центр задньої вісі трактору

Значення горизонтальної поздовжньої координати x центру тяжіння визначаємо за рівнянням (2,1):

$$\bar{x} = \frac{d \cdot F_2}{m} \quad (2.1)$$

де d – повздовжня база трактора, м;

F_2 – значення реакції на передній вісі трактора, Н;

M – значення маси трактора, кг.

Значення вертикальної координати (рис. 2.3) отримаємо за умови підняття задньої частини трактора на кут $20-25^\circ$ відносно горизонту.

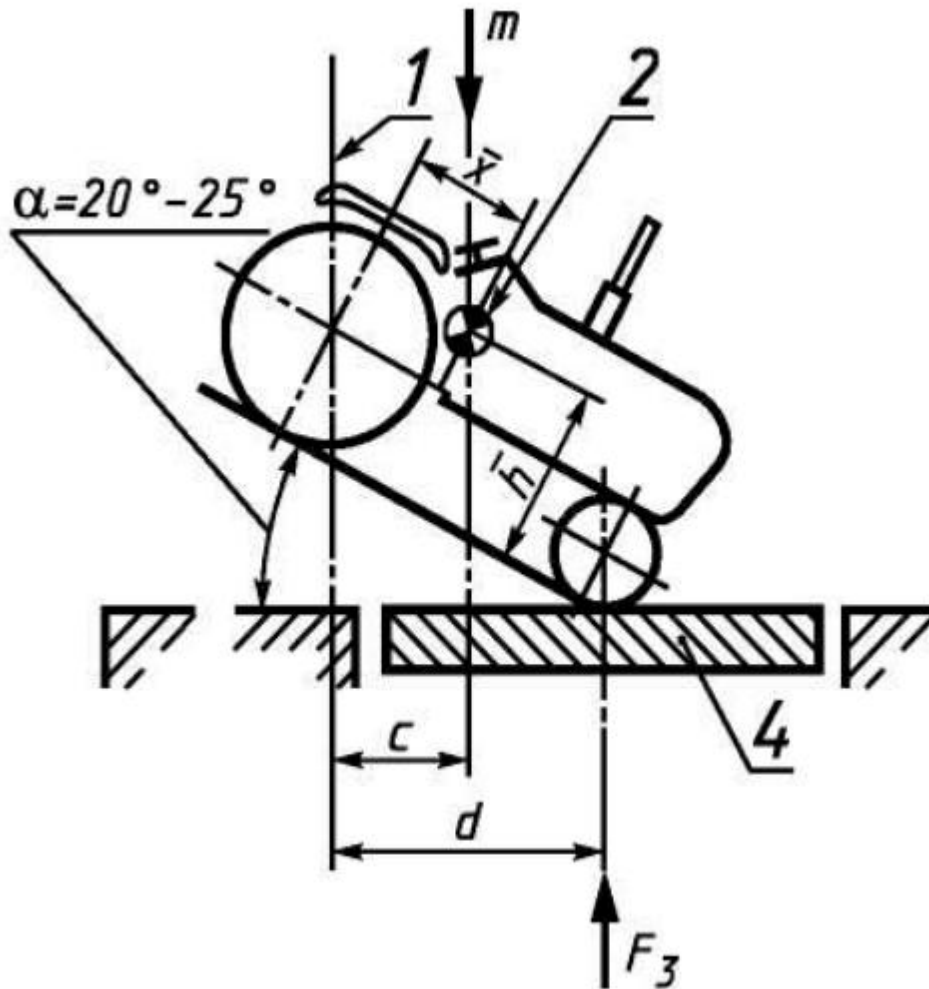


Рисунок 2.3 – Дослідження вертикальної координати центру тяжіння трактора

Визначивши значення реакції F_3 , що діє на передні рушії за допомогою транспортних вагів та врахувавши значення d_1 виконаємо розрахунок вертикальної координати центру тяжіння за формулою:

$$c = \frac{d_1 \cdot F_3}{m} \quad (2.2)$$

де d_1 – значення відстані від точки підвішування до точки опори передніх коліс, м;

F_3 – значення реакції на передніх рушіях, Н.

Дослідження повторюють, підвішуючи трактор з протилежного боку, при цьому збереження кута підвісу не є обов'язковим. Випробування проводять для обох боків, і кут підвісу може змінюватися.

Координату h визначають у точці перетину лінії, паралельної осі підвісу на певній відстані, та перпендикуляра, проведеного на відстані xxx до лінії, паралельної координаті xxx , яка проходить через крайні точки бази трактора.

Якщо результати випробувань відрізняються, координати h усереднюють.

Для визначення поперечної координати (рис. 2.4) визначають навантаження F_4 і F_5 , , що створюються колесами з лівого та правого боку. Відстань b , яка відповідає положенню центру тяжіння, обчислюють із використанням ширини колії d_t відповідно до формули [15]:

$$b = \frac{d_t \cdot F_4}{m} \quad (2.3)$$

де d_t – ширина колії трактора, мм;

F_4 – навантаження, яке створюється колесами лівого борту трактора, кг.

Поперечну координату центру тяжіння розраховують за формулою [15]:

$$y = \frac{d_t}{2} - b \quad (2.4)$$

де d_t - відстань від центру тяжіння до поздовжньої площини, що проходить через рушій трактора, встановлений на випробувальному майданчику, мм.

Таким чином отримують координати розташування центру ваги трактора. Положення центру тяжіння вказують за міліметри від кожної з трьох базових площин (рисунк 2.6) разом з вагою складала 1141 мм. Кут нахилу трактора при цьому становив 25° .

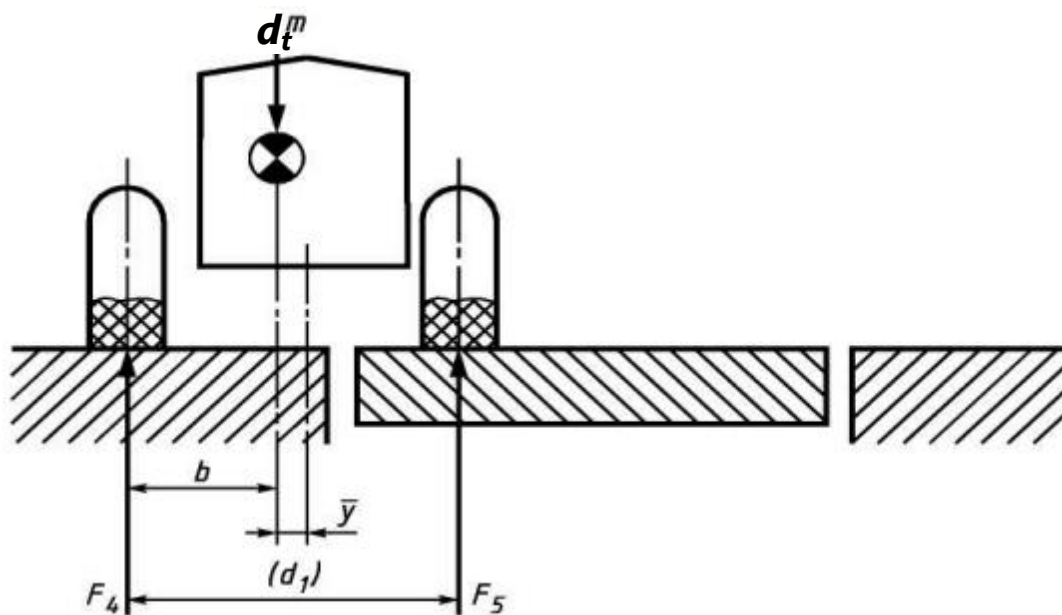


Рисунок 2.4 – Дослідження поперечної координати центру тяжіння трактора К-700

Цю методику цілком можна використовувати щодо становища центру тяжкості трактора. Проте внаслідок її трудомісткості доцільно вертикальну координату центру тяжіння ЦТ визначити аналітично.

Спочатку за формулою (2.1) визначимо горизонтальну координату x (рисунок 2.2) розташування центру тяжіння трактора. Для цього за допомогою транспортних вагів (рис. 2.5) визначали частину ваги F_2 трактора, що припадає на передню вісь трактора. Згідно з проведеними вимірами даний параметр склав $F_2 = 129568 \text{ Н}$ (12960 кг). Координата x за формулою (2.1):

Для визначення вертикальної координати необхідно визначити реакцію, що діє на задню вісь трактора, що стоїть під кутом $22\text{-}26^\circ$. Для цього задні колеса трактора встановлювалися на спеціальну платформу, висота якої H (рис. 2.6) разом з вагою складала 1,142 м. Кут нахилу трактора при цьому становив 23° .



Рисунок 2.5 – Електронні транспортні ваги ВАПО-10

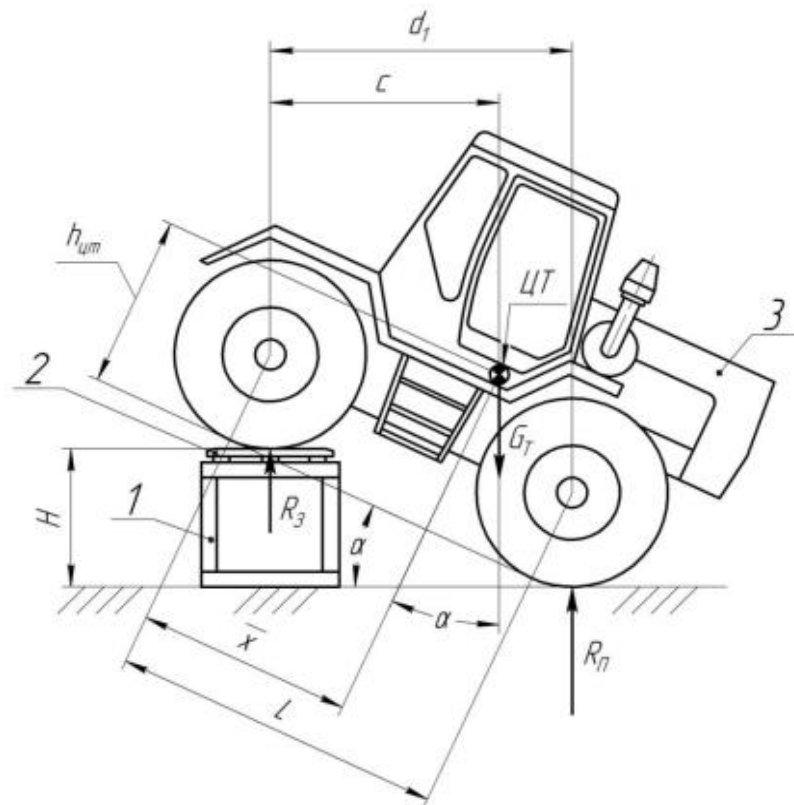


Рисунок 2.6 – Розрахунок центру тяжіння трактора :
1 – платформа; 2 – електронні ваги; 3 – трактор К-700

Значення вертикальної координати центру тяжіння трактора $h_{\text{цт}}$ (рис. 2.5) визначимо за формулою:

$$h_{\text{цт}} = \left(\frac{c}{\cos \alpha} - \bar{x} \right) \quad (2.5)$$

де c – відстань від задньої осі до ЦТ трактора, м.

Для визначення горизонтальної координати центру тяжіння з розглянемо рівновагу трактора у похилому положенні. Рівняння рівноваги виглядатиме так:

$$G_t \cdot (d - c) - R_3 \cdot d = 0 \quad (2.6)$$

де G_t - вага трактора, Н;

$$G_t = m \cdot g \quad (2.7)$$

g - прискорення вільного падіння, м/с²; $g = 9,81$ м/с²;

R_3 – реакція на задні колеса із боку платформи, Н;

d_1 – відстань у горизонтальній площині між осями трактора, що стоїть на платформі, мм, що визначається з виразу:

$$d_1 = L \cdot \cos \alpha \quad (2.8)$$

L – колісна база трактора, мм; (див. рисунок 2.1). З виразу (2.6) з урахуванням (2.8) маємо:

$$c = \frac{(G_T - R_3) \cdot L \cdot \cos \alpha}{G_T} \quad (2.9)$$

З урахуванням (2.9) вираз (2.5) набуває вигляду:

$$h_{\text{ЦТ}} = \left\{ \frac{(G_T - R_3) \cdot L}{G_T} - \bar{x} \right\} \cdot \cot \alpha \quad (2.10)$$

Використавши наведену методику проведено розрахунки за результатами яких горизонтальна координата центру ваги становить 2,46 м , вертикальна координата 1,15 м

2.2 Теоретичні дослідження центра тяжіння касети з балонами

При переобладнанні трактора К-700А було використано 24 суцільнометалевих балони об'ємом 50 л кожен. Довжина балона – 1,755 м, діаметр балона – 0,219 м. Маса порожнього балону – 76,2 кг, заправленого – 84,9 кг. Маса касети для кріплення балонів – 73 кг. Загальна маса касети з заправленими балонами – 2114 кг.

Для визначення положення центру тяжіння касети з балонами використано методику, наведену в [16].

Відповідно до даної методики координати центру тяжіння касети, визначимо з умови рівності моментів складових касети відносно її центру тяжіння x_T за рівнянням:

$$x_T = \frac{\sum(G_i \cdot x_i)}{\sum G_i} \quad (2.11)$$

де G_i - вага балону, що входить до складу касети, та міжрамні лонжерони Н;
 x_i - координата центру ваги балона і лонжеронів, м.

Розрахункова схема та результати визначення координат центру тяжіння касети наведено на рисунку 2.7.

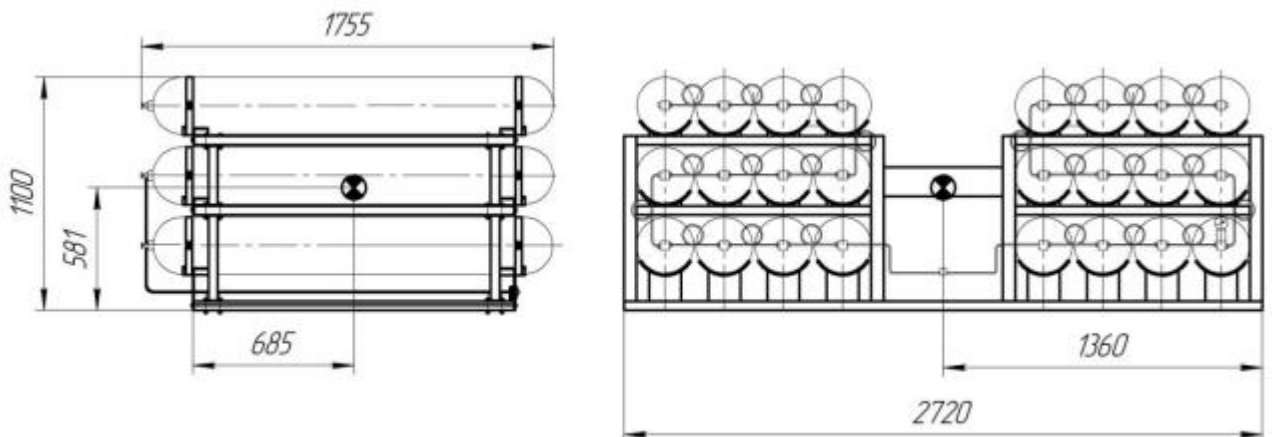


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема та результати визначення координат центру тяжіння касети К-700А.

2.3 Теоретичні дослідження центру тяжіння навісного знаряддя

Трактори сільськогосподарського призначення у більшості випадків використовуються як енергетичні засоби для проведення різних робіт. При цьому для здійснення технологічного процесу використовуються різні сільськогосподарські знаряддя, які можуть бути як причіпними, так і навісними. При цьому знаряддя, що використовуються, можуть значно змінити розподіл мас машинно-тракторного агрегату і, як наслідок, його стійкість загалом. Особливо це актуально для сільськогосподарських знарядь, у яких центр тяжіння зміщений відносно поздовжньої осі трактора. До таких знарядь відноситься навісний плуг ПЛН-8-35, що використовується в агрегаті з трактором К-700А.

Плуг лемішний навісний ПЛН-8-35 призначений для оранки під зернові та технічні культури на глибину до 30 см ґрунтів, не засмічених камінням, плитняком та іншими перешкодами, з питомим опором до 0,09 МПа (0,9 кг/см²), твердістю до 3,0 МПа (30 кг/см²) та вологістю 12-15 %.

Габаритні розміри плуга, м: довжина – 6,73±0,2; ширина – 3,475±0,1; висота 1,68±0,05. Маса плуга – 1746±48 кг.

Для визначення розташування центру тяжіння побудовано 3D-модель плуга в розрахунково-графічному пакеті «Компас-3D V16». (рис. 2.8).

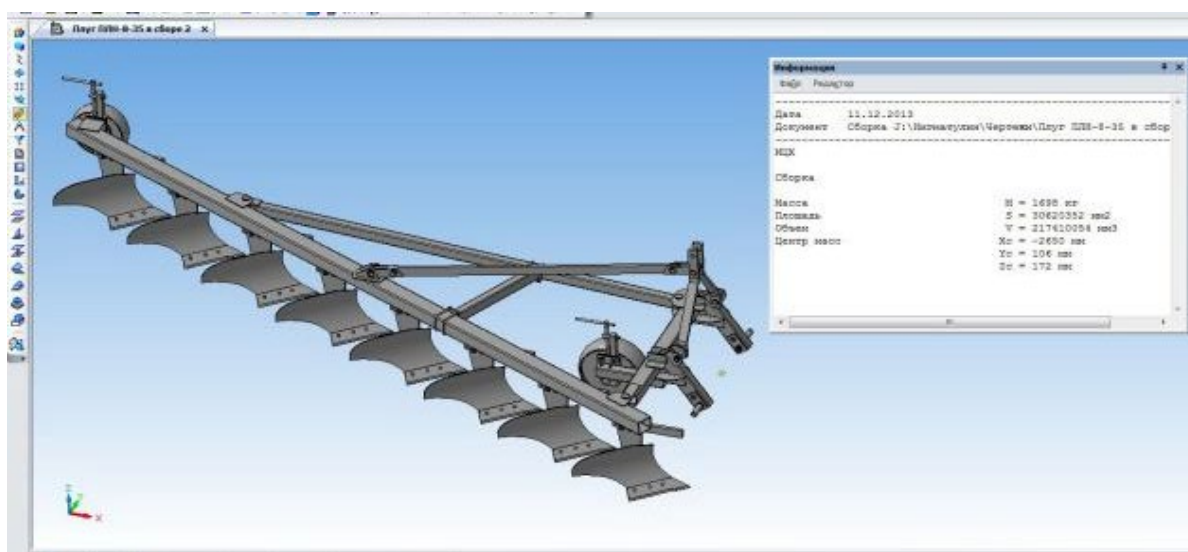


Рисунок 2.8– Результати графічно-теоретичних досліджень координат центру тяжіння плуга ПЛН-8-35

В якості точки відліку для визначення координат центру тяжіння плуга була обрана точка, розташована на осі пальців навішування плуга на рівній відстані кожного пальця (рисунок 2.9).

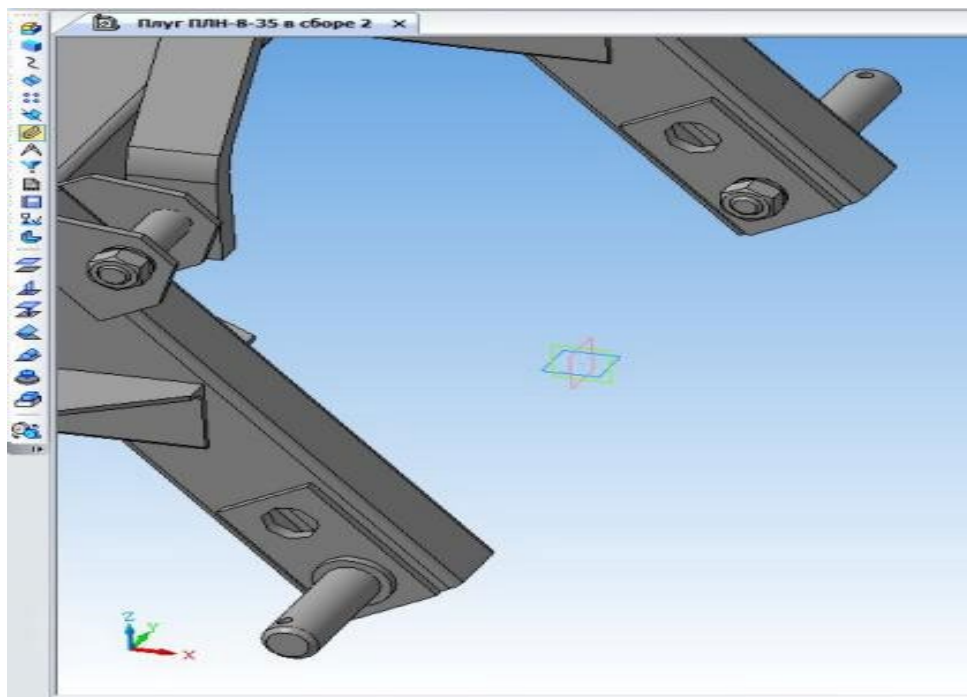


Рисунок 2.9 –Точки початку координатних площин плуга ПЛН-8-35.

За проведеними дослідженнями згідно рисунку 2.8, отримано значення координат центру тяжіння плуга ПЛН-8-35 відносно початкових точок відліку (рис. 2.9):

- значення поздовжньої координати $X = - 2,65$ м;
- значення поперечної координати $Y = 0,106$ м;
- значення вертикальної координати $Z = 0,172$ мм.

Таким чином, нами були визначені координати центрів тяжіння тракторів, газобалонного обладнання та плуга, необхідні для проведення подальшого розрахунку граничних статичних кутів стійкості тракторів та машинно-тракторного агрегату.

2.4 Теоретичні дослідження граничних статичних кутів стійкості машино-тракторного агрегату з ГБО

Враховавши значення отриманих координат центру тяжіння складових машино тракторного агрегату з ГБО визначимо граничні значення статичних кутів його стійкості.

У загальному випадку перекидання є обертальним рухом трактора щодо деякої осі, званої віссю перекидання, тобто це такий поворот трактора навколо осі перекидання, при якому виконується нерівність [17]:

$$M_{\text{пер}} \geq M_{\text{стаб}} \quad (2.12)$$

де $M_{\text{пер}}$ – перекидаючий момент, Н.м;

$M_{\text{стаб}}$ – стабілізуючий момент Нм.

Значення найбільшого кута підйому, при якому зупинений трактор стоїть без перекидань називається граничним статичним кутом підйому $\alpha_{\text{limпід}}$. Аналогічно трактуються граничні статичні кути ухилу ($\alpha_{\text{limух}}$) та поперечного ухилу ($\beta_{\text{limух}}$).

Визначення граничного статичного кута підйому МТА. Внаслідок того, що трактор К-700А має шарнірно зчленовану раму, при якій є можливість відносного повороту напіврам (у горизонтальній площині до 35° і поперечної вертикальної площини навколо поздовжнього шарніра до 16° [18]). Причому до упору в обмежувальні кронштейни дві напіврами трактора поводяться як дві окремі частини.

З урахуванням сказаного розглянемо рівновагу машинно-тракторного агрегату (МТА), що стоїть підйомі (рис. 2.10).

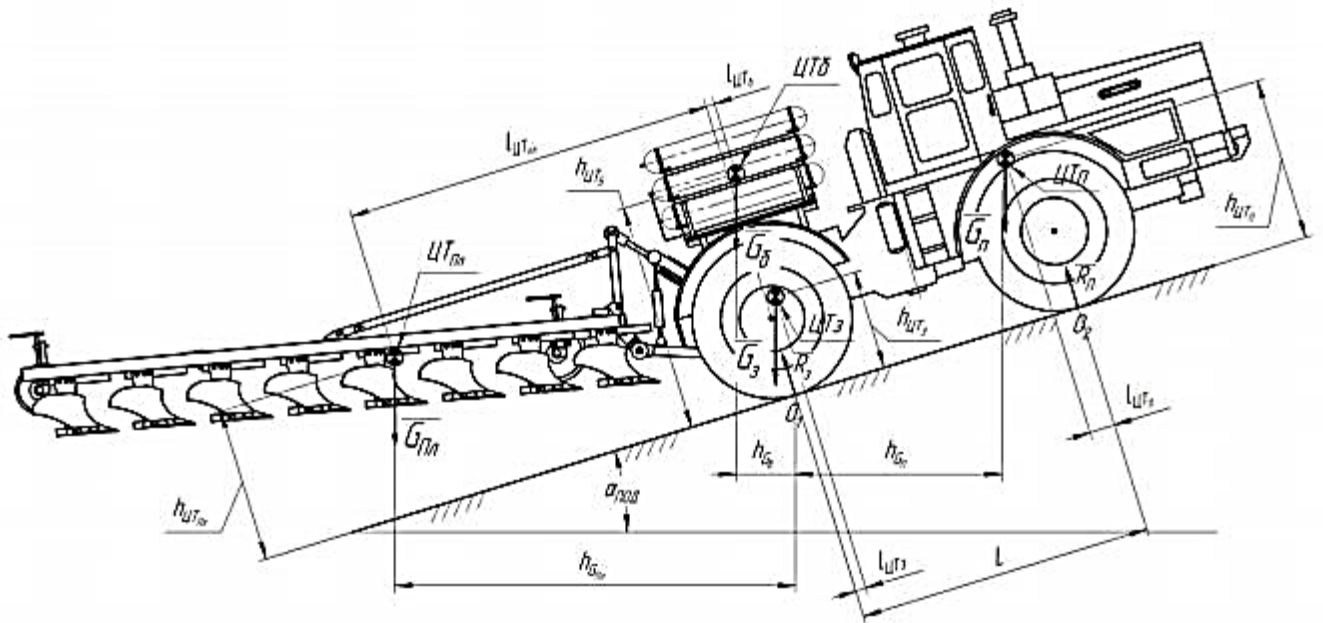


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема визначення граничного статичного кута підйому МТА

Для цього складемо рівняння рівноваги МТА щодо передбачуваної осі перекидання трактора (точка 1).

$$\sum M_{O_1}(F_i) = 0; -G_{\text{П}} \cdot h_{G_{\text{П}}} - G_3 \cdot h_{G_3} - G_{\text{Б}} \cdot h_{G_{\text{Б}}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{G_{\text{Пл}}} + R_{\text{П}} \cdot L = 0 \quad (2.13)$$

де $h_{G_{\text{П}}}$ – плече застосування сили тяжіння передньої напіврамі трактору $G_{\text{П}}$, м;

h_{G_3} – плече застосування сили тяжіння задньої напіврамі трактора G_3 , м;

$h_{G_{\text{Б}}}$ – плече застосування сили тяжіння газобалонної апаратури $G_{\text{Б}}$, м;

$h_{G_{\text{Пл}}}$ – плече застосування сили тяжіння плуга $G_{\text{Пл}}$, м;

L – колісна база трактора, м; $L = 3,2$ м.

Відповідно до рис. 2.12 отримаємо:

$$h_{G_{\text{П}}} = L \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - l_{\text{ЦТп}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - h_{\text{ЦТп}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}} \quad (2.14)$$

$$h_{G_3} = l_{\text{ЦТ3}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - h_{\text{ЦТ3}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}} \quad (2.15)$$

$$h_{G6} = l_{ЦТ6} \cdot \cos \alpha_{ПД} - h_{ЦТ6} \cdot \sin \alpha_{ПД} \quad (2.16)$$

де $\alpha_{ПД}$ – кут підйому, у якому встановлено трактор, град;

$l_{ЦТ6}$ та $h_{ЦТ6}$ – відповідно горизонтальна та вертикальна координати центру ваги касети балонів трактора, заправлених газом, м; згідно з проведеними вище розрахунками та результатами вимірів, проведених безпосередньо на тракторі, $l_{ЦТ6} = 0,209$ м; $h_{ЦТ6} = 2,421$ м.

Для визначення розташування центру ваги трактора плуга щодо передбачуваної осі перекидання O_1 розглянемо схему, представлену рис. 2.11.

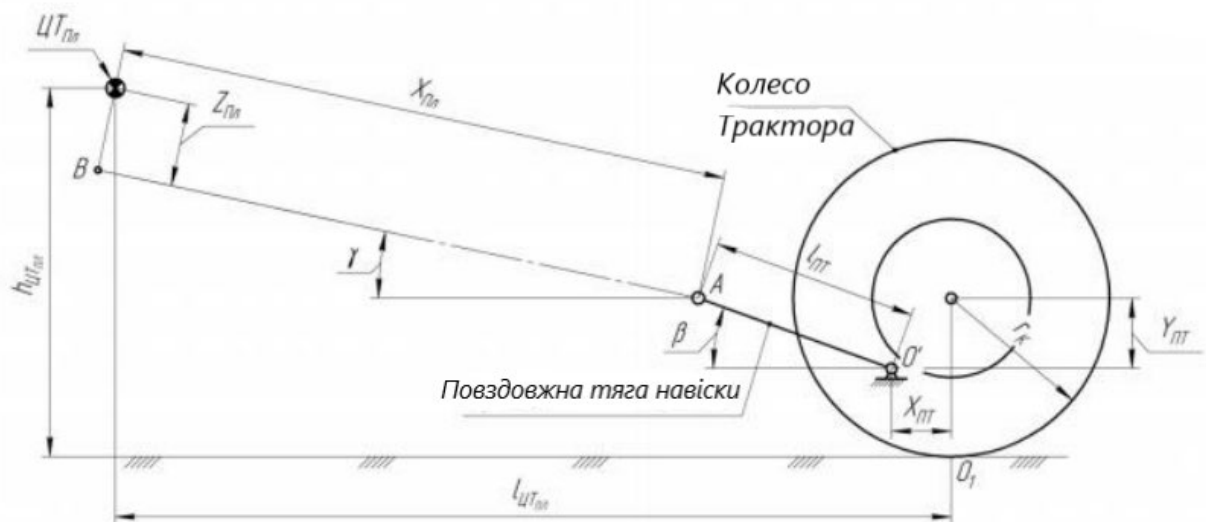


Рисунок 2.11 – Схема визначення розташування центру тяжкості плуга .

Поздовжня координата центру ваги плуга $l_{ЦТПл}$, мм, визначиться за формулою:

$$l_{ЦТПл} = X_{ПТ} + l_{ПТ} \cdot \cos \beta + X_{Пл} \cdot \cos \gamma - Z_{Пл} \cdot \sin \gamma \quad (2.17)$$

де $X_{ПТ}$ - горизонтальна координата осі поздовжньої тяги навішування, м;
 $X_{ПТ} = 0,34$ м;

$l_{ПТ}$ – довжина поздовжньої тяги, мм; $l_{ПТ} = 0,965$ м;

β – кут нахилу поздовжньої тяги навішування, град; $\beta = 21^\circ$;

$X_{\text{Пл}}$ - поздовжня координата центру ваги плуга, мм; $X_{\text{Пл}} = 2,65$ м;

γ – кут нахилу плуга у піднятому положенні, град; $\gamma = 12^\circ$;

$Z_{\text{Пл}}$ – вертикальна координата центру ваги плуга, мм; $Z_{\text{Пл}} = 0,172$ м.

$$l_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} = 0,340 + 0,965 \cdot \cos 21^\circ + 2,650 \cdot \cos 12^\circ - 0,172 \cdot \sin 12^\circ = 3,797 \text{ м}$$

Вертикальна координата центру ваги плуга $h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}}$, м, визначиться за рівнням:

$$h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} = r_K - Y_{\text{ПТ}} + l_{\text{ПТ}} \cdot \sin \beta + X_{\text{Пл}} \cdot \sin \gamma + Z_{\text{Пл}} \cdot \cos \gamma \quad (2.18)$$

де $Y_{\text{ПТ}}$ - вертикальна координата осі поздовжньої тяги навішування, м, $Y_{\text{ПТ}} = 0,35$ мм.

$$h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} = 0,875 - 0,350 + 0,965 \cdot \sin 21^\circ + 2,650 \cdot \sin 12^\circ + 0,172 \cdot \cos 12^\circ = 1,59 \text{ м}$$

Плече докладання сили тяжіння плуга $\bar{G}_{\text{Пл}}$ при визначенні граничного статичного кута підйому трактора визначимо за формулою:

$$h_{G_{\text{Пл}}} = l_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} + h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} & -G_{\text{П}} \cdot (L \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - l_{\text{ЦТ}_{\text{П}}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - h_{\text{ЦТ}_{\text{П}}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}}) - G_3 \\ & \cdot (l_{\text{ЦТ}_3} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - h_{\text{ЦТ}_3} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}}) - G_{\text{Б}} \\ & \cdot (l_{\text{ЦТ}_6} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} - h_{\text{ЦТ}_6} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}}) + G_{\text{Пл}} \\ & \cdot (l_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПД}} + h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПД}}) + R_{\text{П}} \cdot L = 0 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Запишемо вираз реакції на передній осі R_{Π} , H :

$$R_{\Pi} = \frac{(G_{\Pi} \cdot L - G_{\Pi} \cdot l_{\text{цТп}} + G_3 \cdot l_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{цТб}} - G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{цТпл}}) \cdot \cos \alpha_{\text{під}}}{L} - \frac{(G_{\Pi} \cdot h_{\text{цТп}} + G_3 \cdot h_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{цТб}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{цТпл}}) \cdot \sin \alpha_{\text{під}}}{L} \quad (2.21)$$

Як було зазначено вище, у момент перекидання трактора реакція $R_{\Pi} = 0$; причому у цей момент кут підйому дорівнює граничному статичному куту підйому ($\alpha_{\text{під}} = \alpha_{\text{limпід}}$). При цьому колісна база $L \neq 0$.

Тоді:

$$(G_{\Pi} \cdot L - G_{\Pi} \cdot l_{\text{цТп}} + G_3 \cdot l_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{цТб}} - G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{цТпл}}) \cdot \cos \alpha_{\text{під}} - (G_{\Pi} \cdot h_{\text{цТп}} + G_3 \cdot h_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{цТб}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{цТпл}}) \cdot \sin \alpha_{\text{під}} = 0 \quad (2.22)$$

Після деяких перетворень отримуємо вираз визначення граничного статичного кута підйому трактора $\alpha_{\text{limпід}}$:

$$\alpha_{\text{limпід}} = \tan^{-1} \frac{G_{\Pi} \cdot (L - l_{\text{цТп}}) + G_3 \cdot l_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot l_{\text{цТб}} - G_{\text{Пл}} \cdot l_{\text{цТпл}}}{G_{\Pi} \cdot h_{\text{цТп}} + G_3 \cdot h_{\text{цТз}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{цТб}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{цТпл}}} \quad (2.23)$$

Підставивши у вираз значення ваги балонів $G_{\text{Б}} = 0$ або ваги плуга $G_{\text{Пл}} = 0$ можна визначити значення критичного кута підйому трактора без балонів або без плуга відповідно .

- для трактора без газових балонів та без плуга $\alpha_{\text{limпід}} = 51,1^{\circ}$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\alpha_{\text{limпід}} = 44,4^{\circ}$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\alpha_{\text{limпід}} = 44,9^{\circ}$.

Для визначення граничного статичного кута ухилу $\alpha_{\text{limух}}$ розглянемо рівновагу трактора, встановленого на ухилі (рис. 2.12).

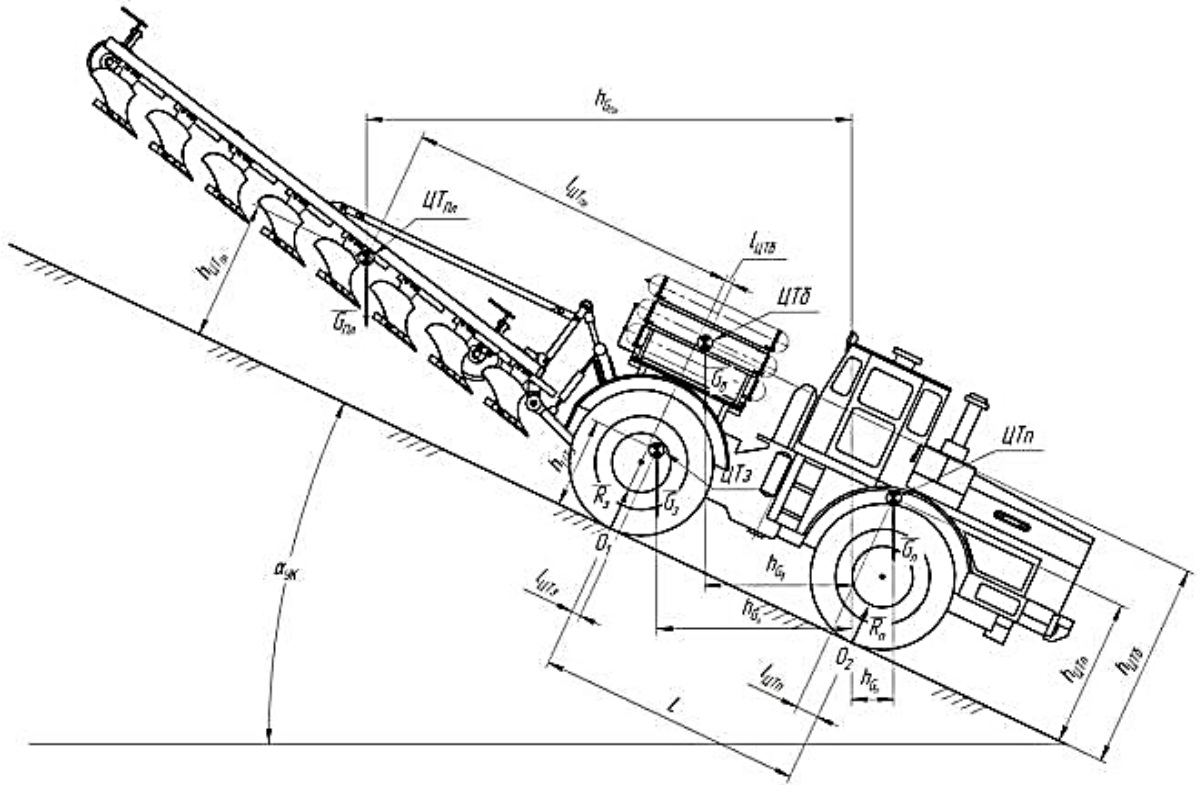


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема теоретичного дослідження граничного статичного кута ухилу МТА

Складемо рівняння рівноваги машинно-тракторного агрегату щодо передбачуваної осі перекидання трактора (точка O_2).

$$\sum M_{O_2} (F_i) = 0; -R_3 \cdot L + G_{\Pi} \cdot h_{G_{\Pi}} + G_3 \cdot h_{G_3} + G_{\text{Б}} \cdot h_{G_{\text{Б}}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{G_{\text{Пл}}} = 0 \quad (2.24)$$

Відповідно до рис. 2.12 отримаємо:

$$h_{G_{\Pi}} = l_{\text{ЦТ}_{\Pi}} \cdot \cos \alpha_{\text{ук}} - h_{\text{ЦТ}_{\Pi}} \cdot \sin \alpha_{\text{ук}} \quad (2.25)$$

$$h_{G_3} = (L - l_{\text{ЦТ}_3}) \cdot \cos \alpha_{\text{ук}} - h_{\text{ЦТ}_3} \cdot \sin \alpha_{\text{ук}} \quad (2.26)$$

$$h_{G_{\text{Б}}} = (L - l_{\text{ЦТ}_6}) \cdot \cos \alpha_{\text{ук}} - h_{\text{ЦТ}_6} \cdot \sin \alpha_{\text{ук}} \quad (2.27)$$

$$h_{G_{\text{Пл}}} = (L - l_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}}) \cdot \cos \alpha_{\text{ук}} - h_{\text{ЦТ}_{\text{Пл}}} \cdot \sin \alpha_{\text{ук}} \quad (2.28)$$

де $\alpha_{\text{ух}}$ – кут ухилу, у якому встановлено трактор, град .

Провівши перетворення, подібні до вищенаведених, отримаємо вираз визначення граничного статичного кута ухилу:

-граничного статичного кута ухилу для трактора з балонами та без них, а також в агрегаті з плугом:

- для трактора без газових балонів та без плуга $\alpha_{limyx} = 46,8^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\alpha_{limyx} = 47,3^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\alpha_{limyx} = 56,2^\circ$.

Поперечна бічна стійкість проти перекидання є властивість трактора чинити опір до перекидання навколо поздовжньої осі. При цьому процесу перекидання спочатку передуює перерозподіл опорних реакцій бортами трактора. У той момент, коли поздовжня вісь, що проходить через центр мас, пройде через вісь перекидання, настає граничне положення, при якому трактор перекидається.

Поперечна стійкість трактора з шарнірною рамою слід розглядати як стійкість зчленованої системи. Основний вплив на поперечну стійкість в даному випадку мають характер зчленування секцій та обмеження їх взаємного переміщення, що залежать від шарніру.

Обмежувачі, що блокують шарнір, допускають поворот однієї секції щодо іншої на кут 17° [18]. При цьому з моменту змикання упорів трактор із шарнірною рамою можна розглядати як єдине ціле.

Розглянемо рівновагу трактора, що стоїть на ухилі. Спочатку, коли трактор має можливість відносного повороту напіврам (за рахунок шарніра), розглянемо рівновагу передньої і задньої напіврам окремо (рис.2.13).

Умова відсутності початку перекидання передньої напіврами:

$$\beta_{lim}^{пер} = \tan^{-1} \frac{0,5 \cdot B}{h_{ЦТ}^{пер}} \quad (2.29)$$

де β – граничний кут поперечної стійкості для передньої напіврами, град; $B = 2,115$ м.

Тепер розглянемо рівновагу задньої частини трактора (рис. 2.15).

Умова рівноваги задньої напіврами щодо осі перекидання O' :

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; R_{\text{пр}}^{\text{зад}} \cdot B - G_3 \cdot h'_{G_3} - G_B \cdot h'_{G_B} - G_{\text{пл}} \cdot h'_{G_{\text{пл}}} = 0, \quad (2.30)$$

де $R_{\text{пр}}^{\text{зад}}$ – реакція правого борту трактора, що припадає на заднє праве колесо Н;

h'_{G_3} , h'_{G_B} і $h'_{G_{\text{пл}}}$ – плечі застосування сил тяжіння G_3 , G_B і $G_{\text{пл}}$ відповідно, м.

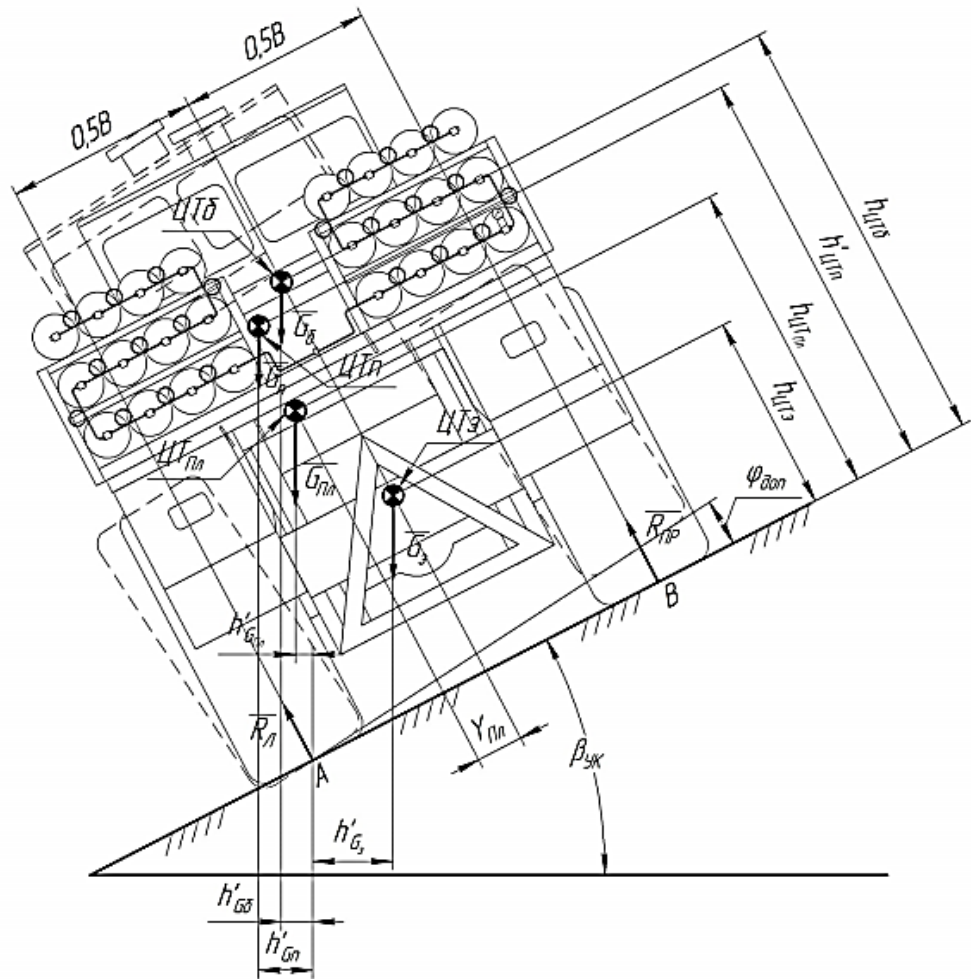


Рисунок 2.13 – Розрахункова схема поперечної стійкості МТА

Плечі докладання сил тяжіння відповідних елементів визначимо за рівнянням:

$$h'_{G_3} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{ук}} - h_{\text{цТз}} \cdot \sin \beta_{\text{ук}} \quad (2.31)$$

$$h'_{G_B} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{ук}} - h_{\text{цТб}} \cdot \sin \beta_{\text{ук}} \quad (2.32)$$

$$h'_{G_{Пл}} = (0,5 \cdot B - Y_{Пл}) \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \beta_{УК} \quad (2.33)$$

Перекидання задньої напіврама трактора не відбудеться до тих пір, поки значення реакції правого борту трактора не буде рівним нулю. Виходячи з цього можна записати:

$$G_3 \cdot h'_{G_3} + G_B \cdot h'_{G_B} + G_{Пл} \cdot h'_{G_{Пл}} = 0 \quad (2.34)$$

Тоді врахувавши рівняння (2.31)-(2.33) отримаємо:

$$G_3 \cdot (0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_3} \cdot \sin \beta_{УК}) + G_B \cdot (0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_6} \cdot \sin \beta_{УК}) + G_{Пл} \cdot ([0,5 \cdot B - Y_{Пл}] \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \beta_{УК}) \quad (2.35)$$

Виконавши математичні перетворення отримаємо:

$$(G_3 + G_B) \cdot 0,5 \cdot B = (G_3 \cdot h_{ЦТ_3} + G_B \cdot h_{ЦТ_6}) \cdot \tan \beta_{lim}^{зад} \quad (2.36)$$

Тоді:

$$\beta_{lim}^{зад} = \tan^{-1} \frac{(G_3 + G_B + G_{Пл}) \cdot 0,5 \cdot B - G_{Пл} \cdot Y_{Пл}}{G_3 \cdot h_{ЦТ_3} + G_B \cdot h_{ЦТ_6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}} \quad (2.37)$$

$$\beta_{lim}^{зад} = 35,4 \text{ град.}$$

Таким чином, значення граничного кута поперечного перекидання для передньої напіврама ($\beta_{lim}^{пер} = 28,6^\circ$) менше, ніж для задньої з балонами та плугом ($\beta_{lim}^{пер} = 35,5^\circ$). Тому для визначення граничного значення кута поперечної стійкості ($\beta_{limУХ}$) розглянемо таке положення трактора, коли передня напіврама повернеться щодо задньої до упору (тобто на кут $\varphi_{доп} = 8^\circ$). При

цьому трактор з цього моменту розглядатимемо як одне ціле. Складемо рівняння моментів усіх сил, що діють на трактор щодо осі перекидання O' :

$$\sum M'_{O'}(F_i) = 0; R_{\text{ПР}} \cdot B - G_{\text{П}} \cdot h'_{G_{\text{П}}} - G_3 \cdot h'_{G_3} - G_{\text{Б}} \cdot h'_{G_{\text{Б}}} - G_{\text{Пл}} \cdot h'_{G_{\text{Пл}}} = 0 \quad (2.38)$$

де $h'_{G_{\text{П}}}$ - плече прикладене силою важкості $\overline{G_{\text{П}}}$, мм.

$$h'_{G_{\text{П}}} = (0,5 \cdot B \cdot \cos \varphi_{\text{ДОП}} + h_{\text{ЦТП}} \cdot \sin \varphi_{\text{ДОП}}) \cdot \cos \beta_{\text{УК}} - (0,5 \cdot B \cdot \sin \varphi_{\text{ДОП}} + h_{\text{ЦТП}} \cos \varphi_{\text{ДОП}}) \cdot \sin \beta_{\text{УК}} \quad (2.39)$$

У момент початку перекидання реакція $R_{\text{ПР}} = 0$, причому значення кута $\beta_{\text{УК}}$ дорівнюватиме граничному значенню кута поперечної стійкості $\beta_{\text{limУК}}$. З огляду на це після перетворень отримаємо:

$$\beta_{\text{limУК}} = \tan^{-1} \frac{G_{\text{П}} \cdot (0,5 \cdot B \cos \varphi_{\text{ДОП}} - h_{\text{ЦТП}} \cdot \sin \varphi_{\text{ДОП}}) + 0,5 \cdot B \cdot (G_3 + G_{\text{Б}} + G_{\text{Пл}}) - G_{\text{Пл}} \cdot Y_{\text{Пл}}}{G_{\text{П}} \cdot (0,5 \cdot B \cdot \sin \varphi_{\text{ДОП}} + h_{\text{ЦТП}} \cdot \cos \varphi_{\text{ДОП}}) + G_3 \cdot h_{\text{ЦТЗ}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{\text{ЦТБ}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{\text{ЦТПл}}} \quad (2.40)$$

Підставивши у вираз (2.40) чисельні значення відповідних параметрів, отримуємо наступні значення граничних статичних кутів поперечного перекидання:

- для трактора без газових балонів та без плуга $\beta_{\text{limУК}} = 35,3^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\beta_{\text{limУК}} = 33,1^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\beta_{\text{limУК}} = 32,6^\circ$.

Наведемо результати визначення граничних статичних кутів перекидання трактора у вигляді стовпчастих діаграм (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Граничні статичні кути перекидання трактора

2.5 Висновки

1. За результатами проведених теоретичних досліджень встановлено значення граничних статичних кутів трактора К-700 з газобалонним обладнанням. Показники кутів змінилися не суттєво в межах норми.

Так значення граничного кута підйому становить:

- для трактора без газових балонів та без плуга $\alpha_{limПД} = 51,1^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\alpha_{limПД} = 44,4^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\alpha_{limПД} = 44,9^\circ$.

значення граничного статичного кута поперечного перекидання становить:

- для трактора без газових балонів та без плуга $\beta_{limУХ} = 35,3^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\beta_{limУХ} = 33,1^\circ$;
- для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\beta_{limУХ} = 32,6^\circ$.

2. При роботі машино тракторного агрегата в складі трактора К-700 + ПЛН-8-35 за рахунок обраної схеми розміщення 24 балонів на задній вісі, зросла зчїпна вага, а відповідно тягові показники та прохідність трактора.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Об'єкт та програма досліджень

Об'єктом досліджень являється трактор К-700А з двигуном ЯМЗ-238НДЗ, що працює за газодизельним циклом (рис. 3.1). Основні показники трактора наведено в додатку А.

Трактор відноситься до енергонасичених енергетичних засобів, тому переведення на газоподібне паливо дозволить вирішити питання як екологічного так і економічного характеру.



Рисунок 3.1 – Об'єкт дослідження газодизельний трактор К-700А

Трактор оснащено системою живлення розробленою з врахуванням напрацювань науковців кафедри ТСГМ (рис. 3.2) [19].

Система побудована таким чином, що має можливість зв'язку з комп'ютером за допомогою СОМ порту. Діагностика системи здійснюється за допомогою програмного комплексу для газового обладнання «Газінжект». Кольорами позначені складові системи подачі газоподібного палива: жовтий –

подача газоподібного палива; синій - електронні ланцюги управління; червоний - подача дизельного палива.

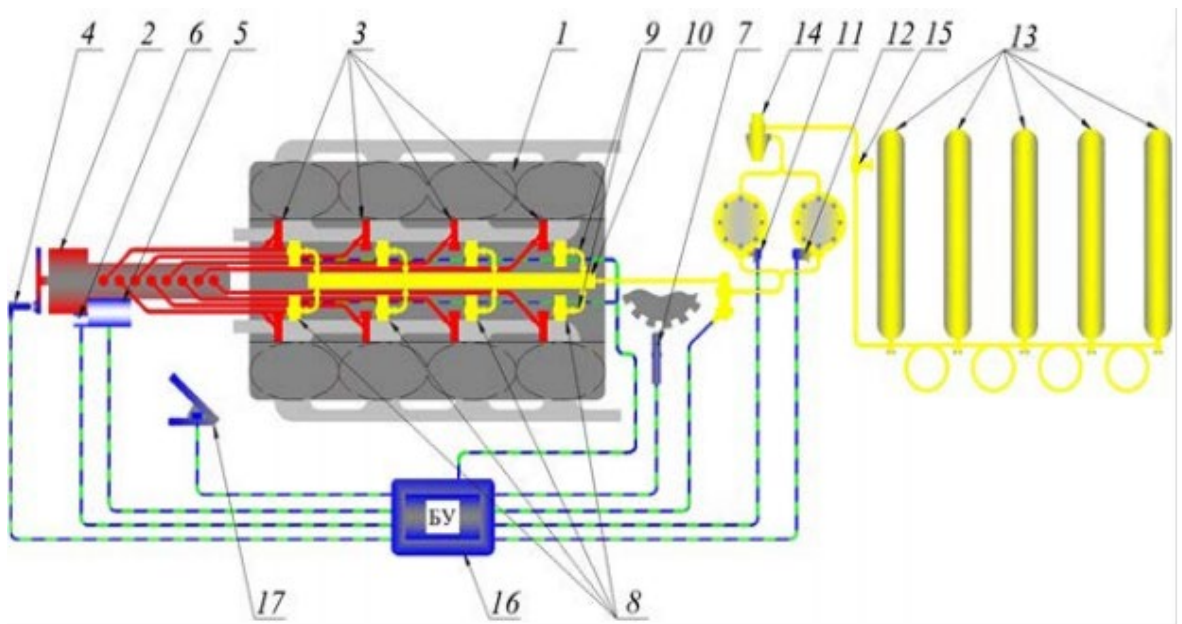


Рисунок 3.2 – Система регулювання потужності двигуна в режимі газодизеля.

1 – ДВЗ; 2 – ПНВТ; 3 – форсунки подачі дизеля; 4 – рейка ПНВТ;
5 – електронно-регулятор положення рейки; 6 – датчик переміщення рейки; 7 – датчик частоти обертів КВ; 8 – ежекційні пристрої подачі метану;
9 – магістралі подачі газу; 10 – колектор газовий; 11 – датчик температури ДВЗ; 12 – датчик тиску газу; 13 – балони для зберігання газу; 14 – редуктор високого тиску; 15 – вентиль; 16 – блок керування системою; 17 – електронна педаль.

Основні складові системи регулювання потужності газодизеля наведено в таблиці 3.1 та додатку Б.

Експериментальні дослідження проводилися за загально прийнятими методиками та відповідно до ДСТУ 7322:2013 «Трактори сільськогосподарські. Методи випробувань» та ДСТУ 4397:2005 «Техніка сільськогосподарська [20]. Для проведення експериментальних досліджень розроблено програму, яка дозволить систематизувати даний процес.

Таблиця 3.1 – Основні складові системи регулювання потужності газодизеля за принципом ежекції

Назва	Одиниці вимірювання	Кіл-ть
1. Блок управління (БУ)	шт.	1
2. Клапан електрогазовий (ЕГК)	шт.	8
3. Колектор газовий (ГК)	шт.	1
4. Пристрій виконавчий у зборі з кронштейном для кріплення до ПНВТ	шт.	1
5. Перетворювач частоти обертання(ПЧО)	шт.	1
6. Датчик фази 36.3847 (ДФО)	шт.	1
7. Тумблер «дизель/газодизель»	шт.	1
8. Тумблер «стоп/робота»	шт.	1
9. Реле 901.3747 (24В/10А)	шт.	1
10. Комплект кабелів зв'язку	компл.	1
11. Комплект монтажних частин	компл.	1
12. Комплект ЗІП	компл.	1

ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Обрати та розробити контрольно-вимірювальне обладнання для виконання експериментальних досліджень

2. Розробити методику та провести експериментальні дослідження екологічних показників газодизеля

3. Розробити методику та провести експериментальні дослідження стійкості газобалонного трактора К-700А з навісним знаряддям

Експлуатаційні дослідження проводились у Кам'янському районі Дніпропетровської області на полях ТОВ «Зоря». Дане господарство має

десятирічний досвід з експлуатації газодизельних тракторів та автомобілів. Всього в господарстві налічується два трактори К-700А з двигуном ЯМЗ-238НДЗ переведеним на роботу за газодизельним циклом на момент проведення досліджень. Запропонованої системи регулювання потужності за ежекційним принципом газового палива змонтована на дослідному тракторі К-700АМ.

3.2 Обладнання та прилади для досліджень

Обладнання для вимірювання тягового зусилля на гаку

Для вимірювання сили тяги на гаку розроблено тензометричний комплекс схему якого наведено на рисунку 3.3 .

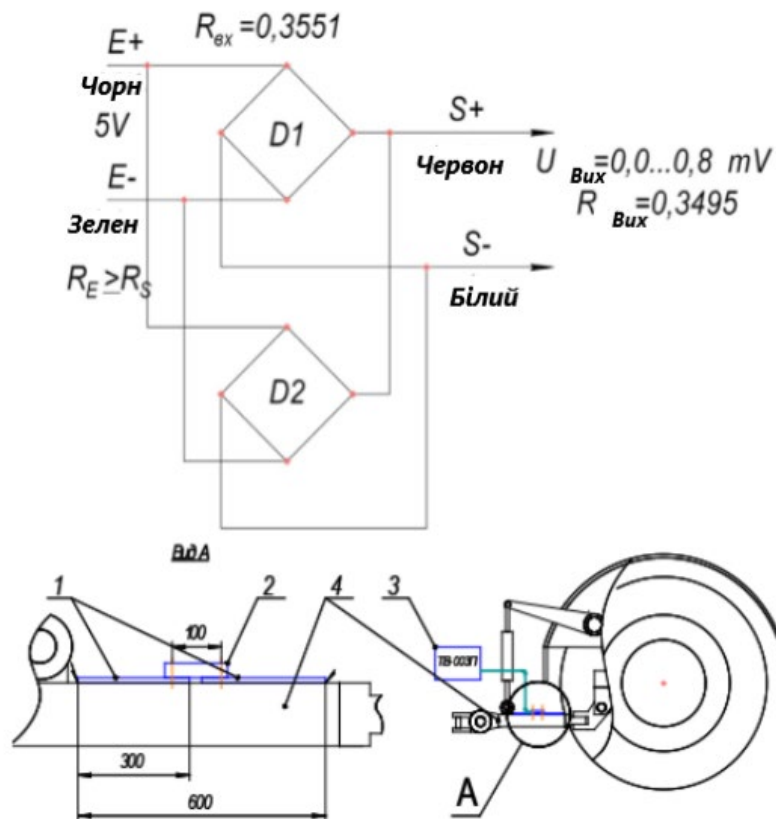


Рисунок 3.3 – Схема підключення тензорезисторних датчиків:
 1 – подовжувач; 2 – тензометричний датчик; 3 АЦП ТВ – 003П;
 4 – тяга навісного механізму

Дослідження проводилися під час виконання основних сільськогосподарських операцій: оранки (плуг ПЛН-8-35), культивуації (Культиватор плоскоріз КПШ-9),

Обладнання для дослідження граничних статичних кутів

Для визначення граничних статичних кутів поздовжньої та поперечної стійкості використовувалася спеціально виготовлена платформа 1 та підйомний механізм 5 на 15 тон (рис. 3.4). Значення граничних кутів нахилу трактора визнали за допомогою виска та дерев'яного щита 7 розмірами 400×400 мм, закріплених на підйомній платформі.

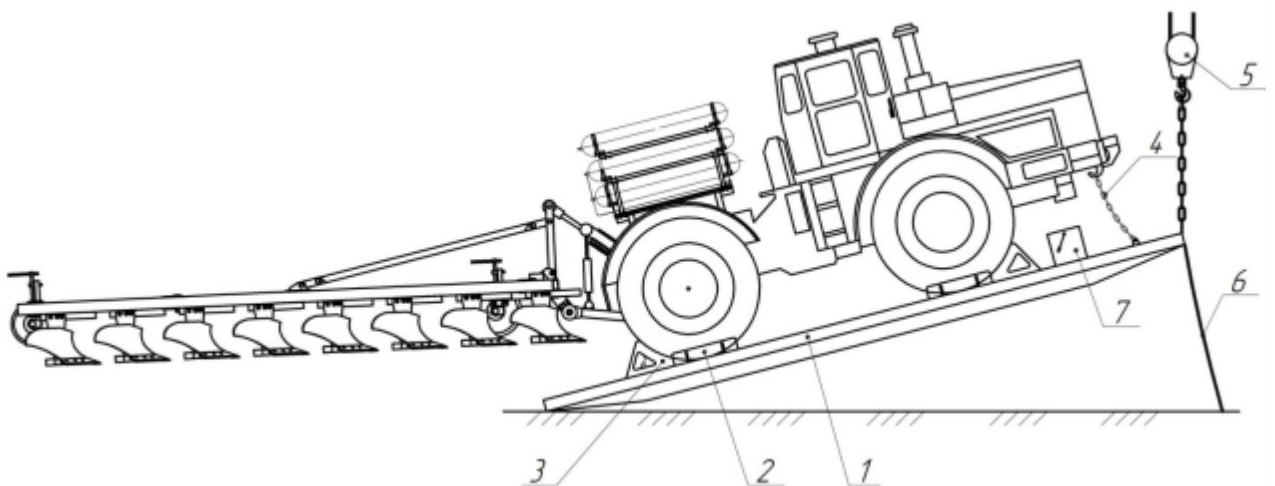


Рисунок 3.4 - Обладнання для дослідження граничних статичних кутів

- 1 – рухома платформа; 2,3 – фіксуючі упори; 3 – ланцюги;
5 – підйомний механізм; 6 – страхувальний ланцюг; 7 – щиток вимірювальний;

Обладнання для дослідження екологічних показників роботи газодизеля

Дослідження екологічних показники вмісту сажі у відпрацьованих газах, визначали за допомогою автотестера-газоаналізатора Мета-0104П (рис. 3.5) II класу точності при номінальній частоті обертання колінчастого валу дизеля, як по дизельному, так і по газодизельному циклу.



Рисунок 3.5 – Автотестер-газоаналізатор Мета-0104П

Двокомпонентний автотестер-газоаналізатор Мета 0104П має II клас точності з каналом вимірювання димності та вбудованим принтером. Призначений для вимірювання токсичності відпрацьованих газів за показниками СО та СН та димності шляхом визначення коефіцієнта та показника ослаблення світлового потоку в відпрацьованих газах. Містить датчик тахометра, цифровий дисплей. Має функцію автоматичної корекції нуля, виходом на ПЕОМ RS-232 та можливістю роботи з програмним забезпеченням «Автотест», а також у складі лінійно-телеметричного комплексу та мотор тестерами.

3.3 Методика та результати досліджень екологічних показників газодизеля

Дослідження проводились із наміром визначити ефективність ежекційного змішування при розподіленій подачі газоподібного палива порівняно з промисловими системами за екологічними показниками, а саме, підтвердження:

- залежності концентрації основних видів токсичних речовин від потужності, що розвивається двигуном під час роботи з газодизельним циклом, під управлінням експериментальної системи;

- залежності концентрації основних видів токсичних речовин від потужності, що розвивається двигуном при роботі з газодизельним циклом.

Методику проведення експериментальних досліджень екологічних показників роботи машино-тракторного агрегату за газодизельним та дизельним циклом наведено на рисунку 3,6.

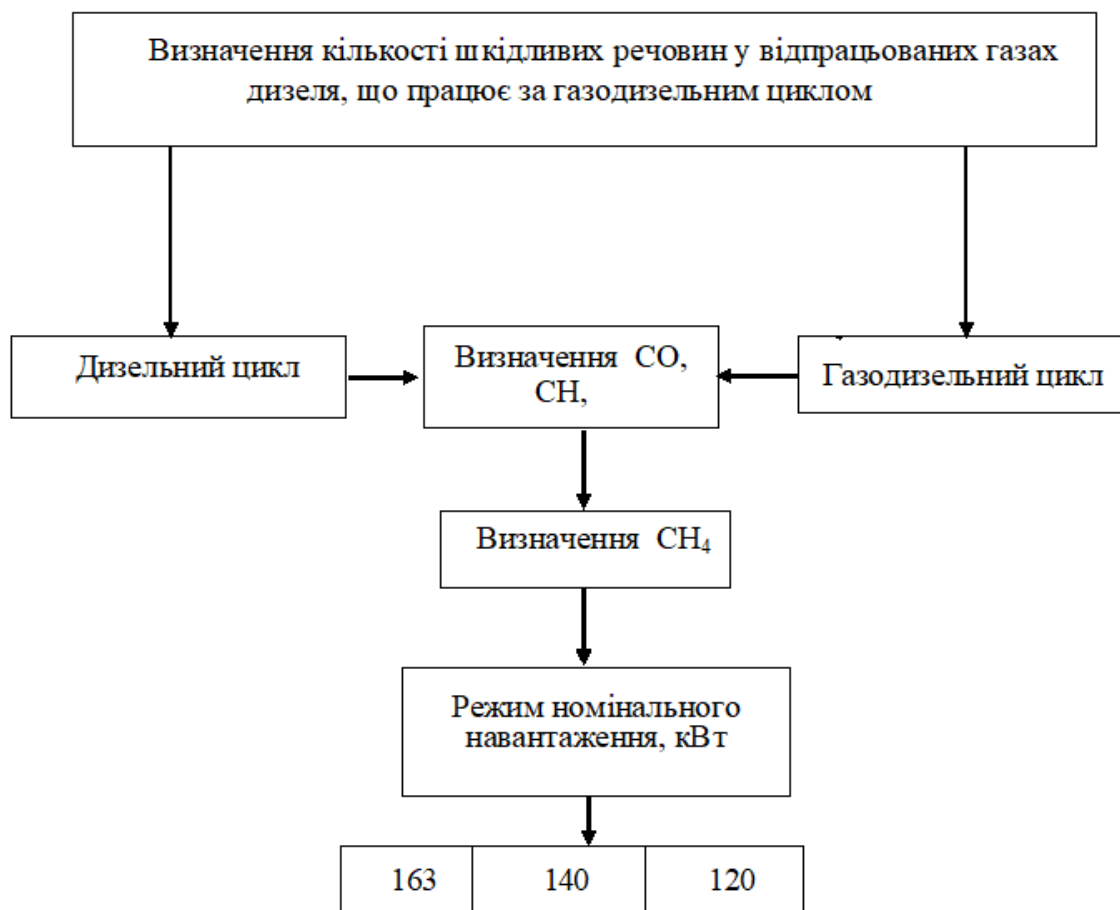


Рисунок 3.6 – Методика дослідження екологічних показників роботи ДВЗ. Дослідження виконуємо за двома варіантами за роботи двигуна ЯМЗ-238НДЗ за дизельним та газодизельним циклом.

Екологічні показники досліджуємо з використанням обладнання наведеного в попередньому розділі.

Дослідження виконуємо при використанні машино-тракторного агрегату К-700А+ ПЛН-8-35 на оранці середніх ґрунтів господарства (рис.3.7 та 3.8). Реєстрація даних здійснювалася з використанням програмного пакету «Тракторінжект».



Рисунок 3.7 – Газобалонний трактор в агрегаті з плугом ПЛН-8-35



Рисунок 3.8 – Дослідження екологічних показників при роботі МТА в режимі дизеля та газодизеля

Результати досліджень екологічних показників з використанням програмного комплексу «Тракторінжект» наведено на рисунку 3.9

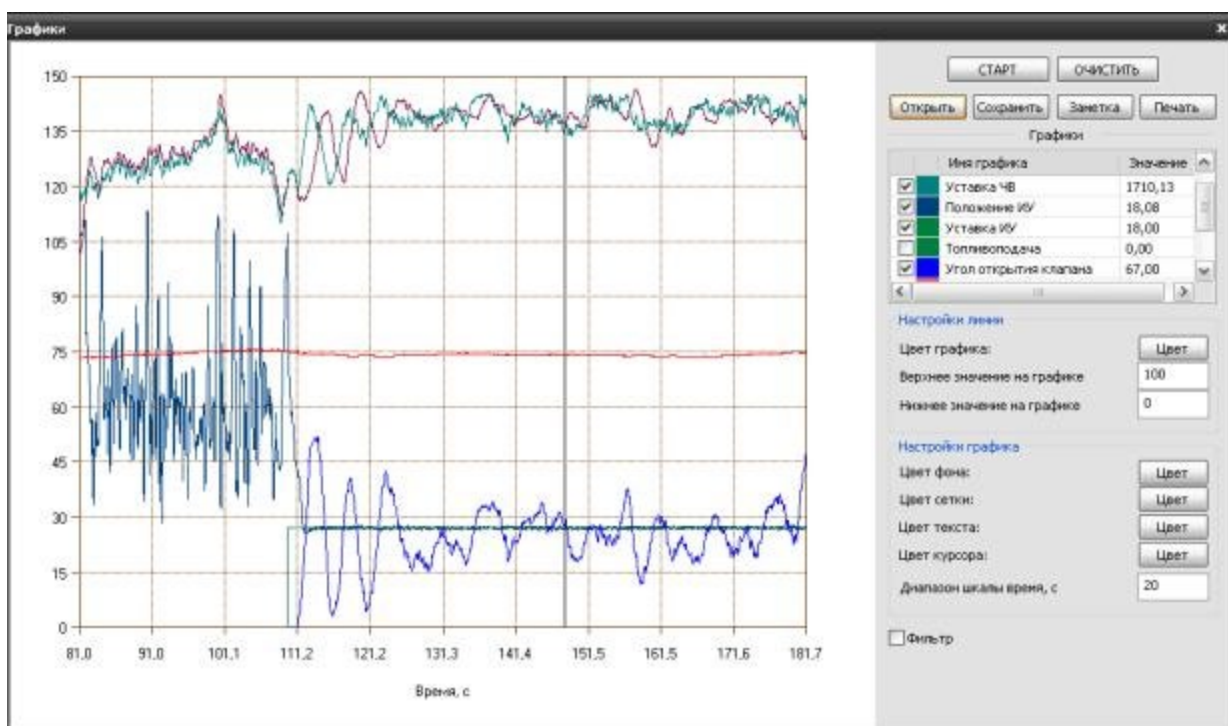


Рисунок 3.9 – Результати досліджень екологічних показників газобалонного трактора К-700А в агрегаті з плугом ПЛН-8-35

Повний аналіз основних показників досліджень наведено на рисунку 3.10

На рисункові 3.10 представлені графічні залежності зміни екологічних показників, залежно від завантаження двигуна для дизельного циклу, газодизельного з центральною подачею газу та газодизельного з безпосередньою подачею газу.

При дослідженнях відзначено поліпшення основних показників токсичності при переведенні дизеля на газодизельний цикл . з 63 до 40%. На номінальному режимі відзначається жорстке згоряння палива і, як наслідок, збільшення викиду оксидів азоту.

Викиди СНх особливо характерні для режимів роботи газодизеля з малими навантаженнями і великим коефіцієнтом надлишку повітря. доцільність переходу на дизельний цикл на режимах малих навантажень і холостого ходу з метою зменшення викидів вуглеводнів і витрати палива. фаз газорозподілу.

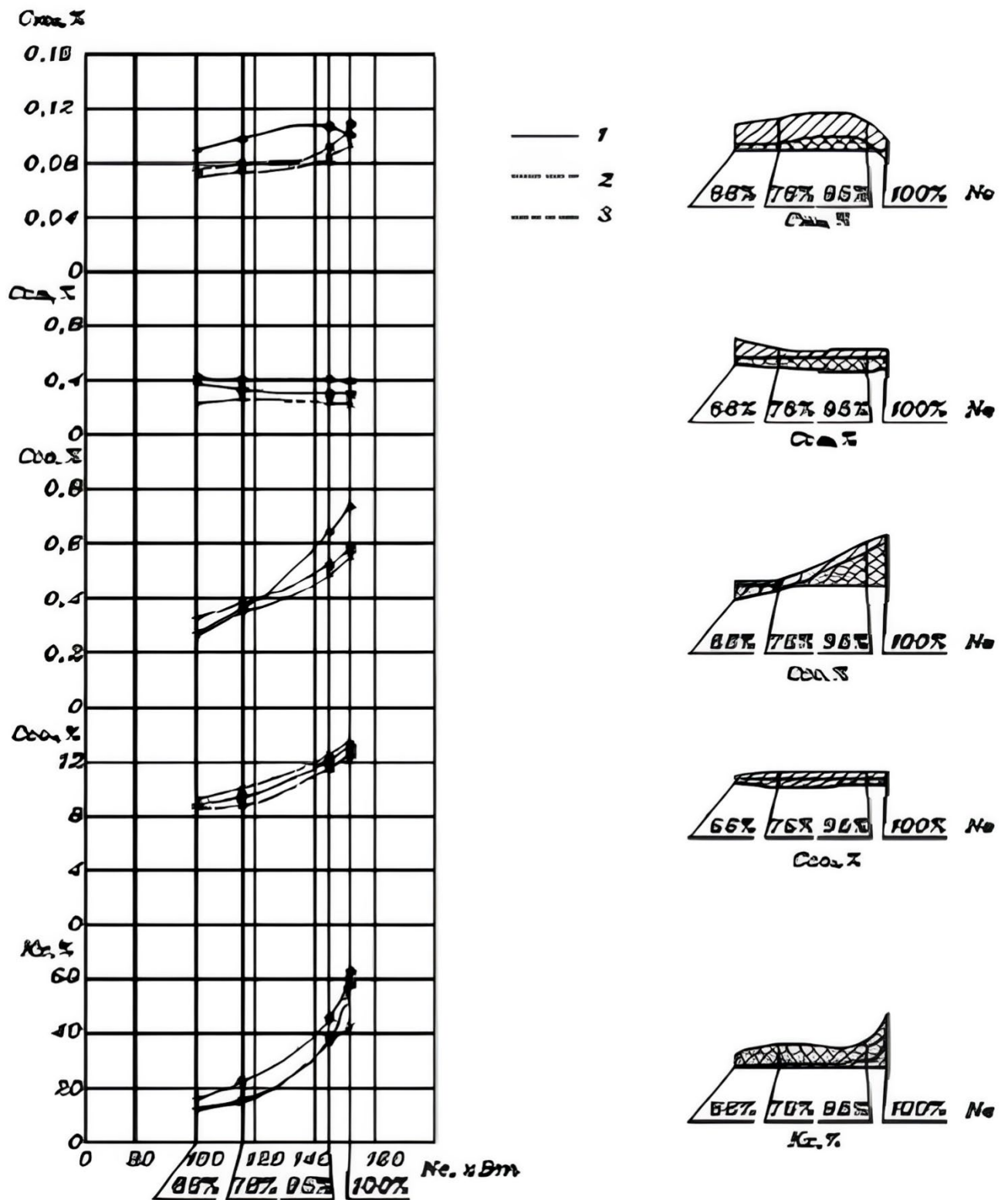


Рисунок 3.10 – Результати досліджень екологічних показників від рівня завантаження ДВЗ

1 – за дизельним циклом; 2 – за газодизельним циклом базовий варіант;
3 – за газодизельним циклом експериментальний варіант;

Дані значення показують, що перехід дизеля на роботу з газодизельного циклу дозволяє, за нормами викидів токсичних газів відповідати стандарту Євро-4, а за окремими показниками відповідати Євро-5 (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Результати дослідження токсичності ВГ трактора К-700А

В результаті аналізу проведених досліджень можна зробити висновок, що екологічна ефективність розробленої системи з розподіленою подачею газу за ежекційним принципом перевищує екологічну ефективність системи з центральною подачею, за показником NOx на 22%, CHx на 31%, CO на 12%, кількість CO₂ підвищилося на 28%, а коефіцієнт задимленості знизився на 16%, за рахунок оптимізація процесів горіння газоподібного палива .

3.4 Методика та результати експериментальних досліджень стійкості газобалонного трактора К-700А з навісним знярджам

Стійкість трактора визначаємо за встановленням граничних статичних кутів трактора з навісними агрегатами. Дослідження виконуємо при агрегуванні газобалонного трактора з плугом ПЛН-8-35. Трактор, підготовлений для випробувань, був повністю заправлений паливом,

мастильними матеріалами та охолоджувальною рідиною. Заливні отвори баків і акумуляторів були герметично закриті, щоб уникнути витoku рідини під час нахилу.

На сидінні трактора розміщувався вантаж масою 75 ± 5 кг.

Під час випробувань стоянкове гальмо було активовано, важіль перемикачання заднього моста перебував у положенні «Увімкнено», а на тракторі використовувалася нижча передача. Тиск у шинах підтримувався в межах 0,14–0,15 МПа, а колеса були попередньо очищені від бруду.

Щоб запобігти поперечному ковзанню коліс під час нахилу платформи, встановлювалися чотири бокові опори заввишки 150 мм, розміщені по зовнішніх краях шин у точках їхнього контакту з платформою. Для запобігання поздовжньому ковзанню трактора перед кожним колесом встановлювалися противідкатні упори заввишки 400 мм, які надійно фіксувалися на платформі.

Для виключення перекидання трактора під час перевищення граничних значень кута поздовжнього або поперечного нахилу платформи застосовувалися гнучкі страхувальні елементи (ланцюги). Один кінець ланцюгів кріпився до платформи, а інший — до трактора. Загалом використовувалося вісім страхувальних ланцюгів: по два з кожного боку та по два спереду і ззаду трактора.

Щоб запобігти перевероту платформи разом із трактором під час відриву коліс, були встановлені страхувальні стропи. Один їхній кінець фіксувався на кронштейні платформи, а інший — на опорі, закріпленій на випробувальному майданчику.

Кут нахилу платформи визначався за допомогою схилу та дерев'яного щита розміром 400×400 мм, на якому позначали горизонтальне положення та граничний кут нахилу платформи.

Перед початком випробувань підготовлений трактор (МТА) встановлювали на платформу так, щоб поздовжня вісь трактора та напрямок руху коліс були паралельні осі поперечного нахилу платформи з допустимим

відхиленням не більше $1,5^\circ$. Після цього під колеса ставили противідкатні упори, які жорстко закріплювали на платформі, а з боків коліс встановлювали бічні опори, які також надійно фіксували.

Для визначення граничного статичного кута підйому трактора використовувався щит 7 (рисунок 3.12), на якому спочатку за допомогою схилу фіксувалося горизонтальне положення платформи. Після цього за допомогою кранового підвісу 5 платформа 1 поступово піднімалася з боку передньої частини трактора, при цьому страхувальний строп платформи 6 поступово послаблювали.

Під час підйому спостерігали за колесами трактора. У момент, коли передні колеса трактора відривалися від платформи, за допомогою схилу на щиті фіксувалося нове кутове положення платформи. Це значення кута нахилу платформи щодо горизонтальної площини вважалося граничним статичним кутом підйому трактора α .

Експеримент проводився тричі. Як оцінний показник використовували мінімальне з отриманих значень кута нахилу платформи, при якому відбувався відрив передніх коліс трактора.

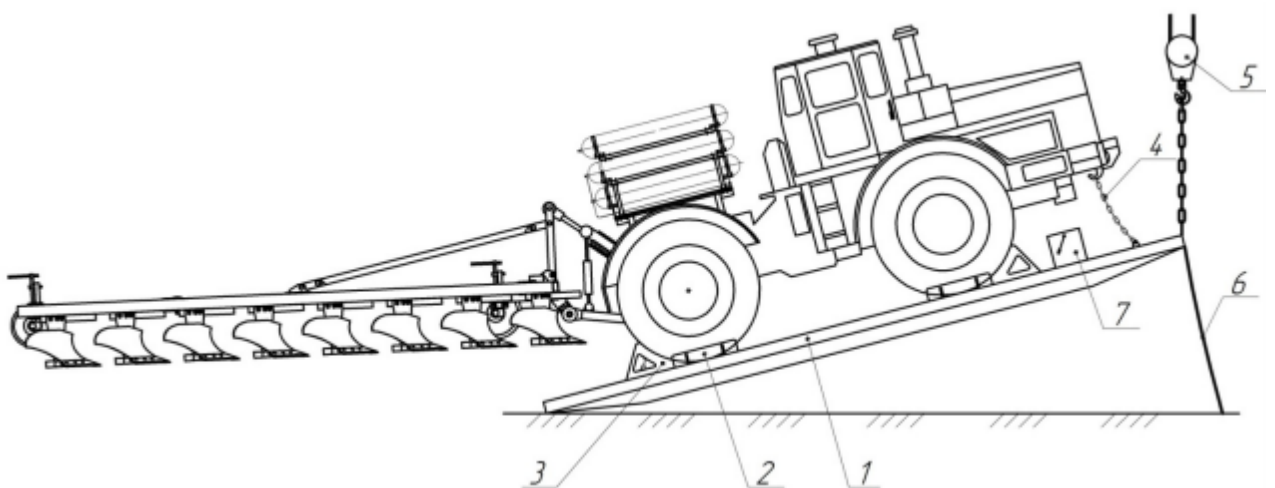


Рисунок 3.12 – Дослідження статичного граничного кута підйому МТА (позиції відповідають рис. 3.4)

Значення граничного статичного кута перекидання трактора на ухилі визначали за схожою методикою. Основна відмінність полягала в тому, що підйом платформи здійснювався з боку задньої частини трактора (рисунок 3.13).

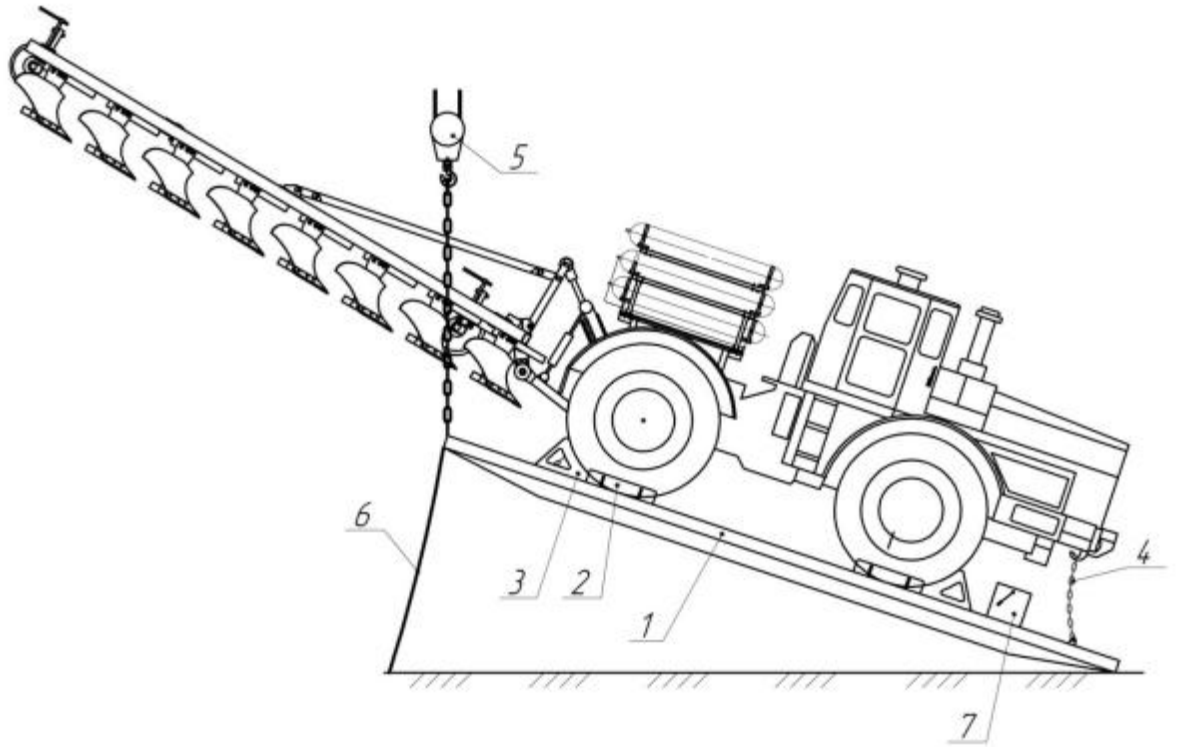


Рисунок 3.13 – Дослідження граничного статичного кута ухилу МТА (позиції відповідають рис. 3.4)

Для визначення граничного статичного кута поперечної стійкості платформа піднімалася з обох боків трактора — правого та лівого. Підйом продовжували до моменту, коли відбувався відрив обох коліс (переднього та заднього) від поверхні платформи (рисунок 3.14).

Як і під час визначення кутів поздовжньої стійкості, випробування проводили тричі. За оцінний показник брали найменше значення кута нахилу платформи.

Проведені експерименти показали, що спочатку відриваються передні колеса трактора, а лише потім — заднє колесо. Отримані експериментальні дані були зіставлені з теоретичними результатами, наведеними в таблиці 3.2.

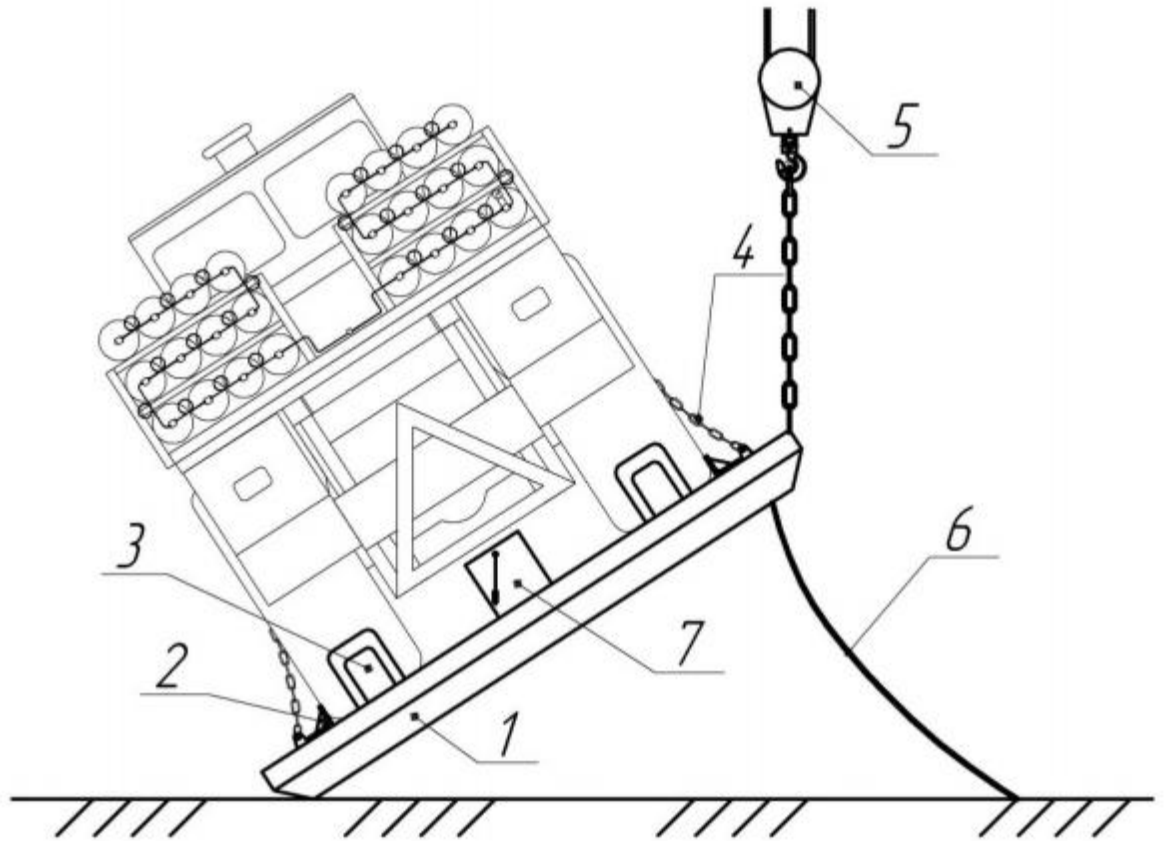


Рисунок 3.14 – Визначення граничного статичного кута ухилу машинно-тракторного агрегату (плуг не показаний):

Розбіжність теоретичних та експериментальних значень граничних статичних кутів МТА визначали за формулою:

$$\delta = \frac{\alpha_{\text{ТЕОР}} - \alpha_{\text{ЕКСП}}}{\alpha_{\text{ТЕОР}}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

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

$\alpha_{\text{ЕКСП}}$ – значення кута експериментальні дослідження, град.

Таблиця 3.2 – Зведені результати експериментальних та теоретичних досліджень граничних статичних кутів

Склад		Граничні кути		
		$\alpha_{limПД}$	$\alpha_{limУХ}$	$\beta_{limУХ}$
Трактор К-700А	теорет., град	51,1	46,8	35,3°
	експер., град	52,0	46,0	35,0
	δ , %	-1,76	1,71	0,85
Трактор з ГБО	теорет., град	44,4	47,3	33,1
	експер., град	46,0	48,0	33,0
	δ , %	-3,60	-1,48	0,30
Трактор ГБО +ПЛН-8-35	теорет., град	44,9	56,2	32,6
	експер., град	43,2	55,0	32,0
	δ , %	3,8	2,14	1,84

Як показав проведений експеримент, значення граничних статичних кутів перекидання, отримані експериментальним шляхом та за допомогою аналітичних розрахунків досить близькі. Максимальна розбіжна склала 3,8 %, що підтверджує адекватність теоретичних досліджень.

3.5 Висновки

1. За результатами польових експериментальних досліджень роботи газодизельного трактора К-700А в агрегаті з плугом ПЛН-8-35 доведено

працездатність запропонованої системи регулювання потужності газодизеля за принципом ежекції

2. Встановлено, що використання системи розподіленої подачі газоподібного та дизельного палива за ежекційним принципом дозволяє знизити вміст шкідливих викидів у відпрацьованих газах двигуна до вимог, які регламентуються нормами ЄВРО-4.

3. Особливості режимів роботи:

- На малих навантаженнях та холостому ходу відзначено підвищення викидів вуглеводнів, що підтверджує доцільність переходу на дизельний режим у таких умовах.

- На номінальних режимах роботи спостерігається жорстке згоряння палива, що потребує додаткових налаштувань для мінімізації викидів NOx.

4. Дослідження граничних статичних кутів нахилу підтвердили відповідність трактора К-700А з газобалонним обладнанням та навісним плугом ПЛН-8-35 нормам стійкості. Результати експериментів показали мінімальні розбіжності з теоретичними значеннями, що свідчить про точність моделювання та реалістичність проведених досліджень. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями кутів становила не більше 3,8%, що є прийнятним у межах погрішності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Особливості охорони праці при експлуатації газобалонних тракторів

Використання газового палива в двигунах тракторів має низку недоліків, які обмежують його широке застосування в транспортних засобах із газобалонним обладнанням. Газоподібне паливо є джерелом підвищеної небезпеки через особливості свого хімічного складу та агрегатного стану, які одночасно зумовлюють його переваги над рідкими видами палива. За основною характеристикою — теплотою згорання — газ мало відрізняється від інших енергоносіїв, таких як бензин чи дизельне паливо. Газоповітряні суміші проявляють схожу поведінку з рідкопаливними сумішами, і ризики, пов'язані з пожежами чи вибухами, є приблизно однаковими [21,22].

Основна відмінність газу полягає в його низькій щільності, що потребує зберігання під високим тиском у балонах. Це створює додаткову загрозу через можливість руйнування ємностей, які перебувають у механічно нерівноважному стані. У разі розгерметизації газового обладнання витік газу відбувається з високою швидкістю завдяки внутрішній енергії стисненого газу. Такий процес неможливо оперативно зупинити, що призводить до утворення значних обсягів горючої суміші за короткий час. Займання газоповітряних сумішей у цих умовах практично неможливо загасити.

Особливістю газу є його здатність до самозаймання через електричні розряди, викликані швидкісним витіканням. Навіть незначний витік у закритих, недостатньо вентильованих приміщеннях може призвести до накопичення вибухонебезпечної суміші та об'ємного вибуху у разі наявності ініціюючих факторів [21].

Додаткові ризики пов'язані із системою газового обладнання, яка через свою конструктивну складність та можливі несправності підвищує небезпеку експлуатації. Безпеку використання газоподібного палива забезпечують наступні заходи:

- регулярна перевірка герметичності газового обладнання та міцності балонів;
- обов'язковий технічний огляд після ремонту чи монтажу окремих компонентів системи;
- заборона зберігання газифікованого транспорту із заповненими балонами в закритих приміщеннях або проведення зварювальних робіт на такому обладнанні;
- припинення експлуатації транспортного засобу за наявності витоків газу;
- обов'язкове навчання водіїв для роботи з газовим обладнанням;
- щоденний контроль герметичності системи перед виїздом транспортного засобу на маршрут, що виконується відповідальними особами підприємства та заправними станціями.

Таким чином, газоподібне паливо має свої переваги, проте значні ризики вимагають дотримання суворих правил експлуатації для забезпечення безпеки.

Наразі існують розроблені інструкції з безпечної експлуатації автомобілів, обладнаних газобалонними системами. Для тракторів такі інструкції створюються індивідуально кожним підприємством, яке виробляє газобалонне обладнання. Однак вони часто не враховують усіх умов експлуатації та заходів безпеки, особливо під час технічного обслуговування.

Це підкреслює необхідність розробки заходів, спрямованих на забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу тракторів із газобалонними системами як під час експлуатації, так і в процесі технічного обслуговування.

Такі заходи є важливою умовою для успішного використання газобалонних тракторів у сільськогосподарському виробництві.

Серед недоліків тракторів із газобалонним обладнанням можна виділити збільшення їх експлуатаційної маси, що негативно впливає на взаємодію рушіїв трактора з ґрунтом, погіршуючи його агротехнічні властивості.

4.2 Рекомендації щодо вдосконалення техніки безпеки та технічного обслуговування

Використання метану як моторного палива вимагає дотримання підвищених вимог пожежної безпеки, які стосуються обладнання, будівель, споруд, а також організації відкритих і закритих стоянок та постів технічного обслуговування (рис. 4.1). Згідно з чинними нормативними документами [23-25], кожен газовий балон має бути обладнаний вентилем із запобіжним пристроєм. Також обов'язковим є регулярний контроль герметичності газового обладнання для запобігання можливим витокам. Транспортні засоби повинні бути оснащені системами сигналізації витoku газу, які подають сигнал безпосередньо водію.

Для відкритих стоянок транспортних засобів із газобалонним обладнанням слід забезпечити дотримання мінімальних відстаней до будівель і споруд. Покриття стоянки повинно бути виконане із спеціального матеріалу та мати заданий ухил, що відповідає нормам безпеки.

До будівель, призначених для експлуатації транспортних засобів із газобалонним обладнанням, висуваються особливі вимоги щодо об'ємно-планувальних рішень. При проектуванні необхідно враховувати ступінь вогнестійкості будівлі, кількість транспортних засобів, що обслуговуються, та особливості технологічного процесу. Залежно від цих факторів визначаються площа стоянки та поверховість будівлі.

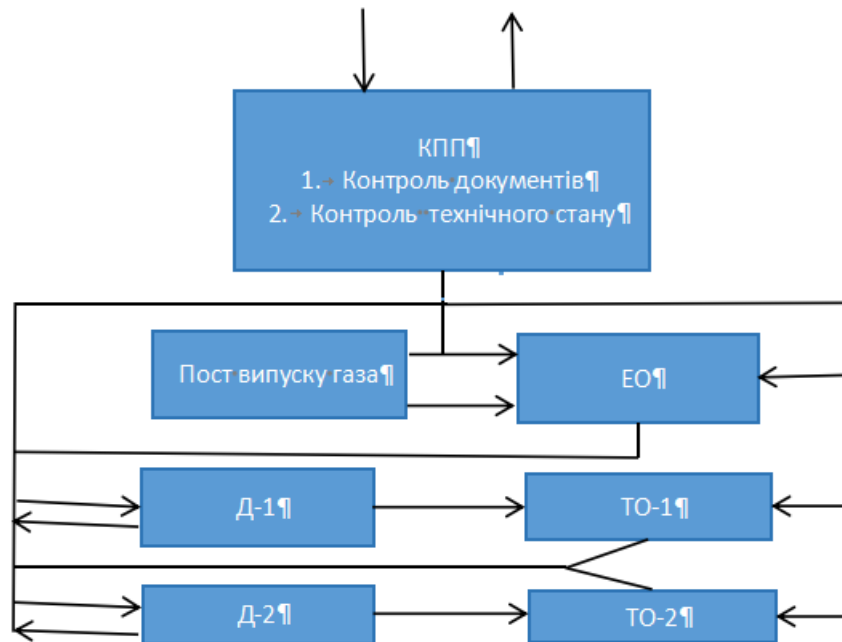


Рисунок 4.1 – Схема технологічного процесу ТО та ПР газобалонної апаратури

Необхідна площа виробничої ділянки ТО визначається за такою формулою [26]:

$$F_{\text{уч}} = \sum Z_{iy} \cdot f_{cij} \quad (4.1)$$

де Z_{iy} – питома річна потреба у площі машини i -ої марки, м^2 ; (Для трактора К-700А - 30м^2 [26]);

f_{cij} - фронт ремонту i -ої машини, як число машин j -ої марки, що знаходяться в ремонті (розрахунок виробляємо на один пост).

$$F_{\text{уч}} = 30 \cdot 1 = 30\text{м}^2$$

Трактор К-700А класифікується як рухомий склад IV категорії [23]. З урахуванням встановлених нормативів щодо відстаней та вимог для даної категорії рухомого складу і обладнання визначаються параметри та компонування посту технічного обслуговування (рис. 4.2).

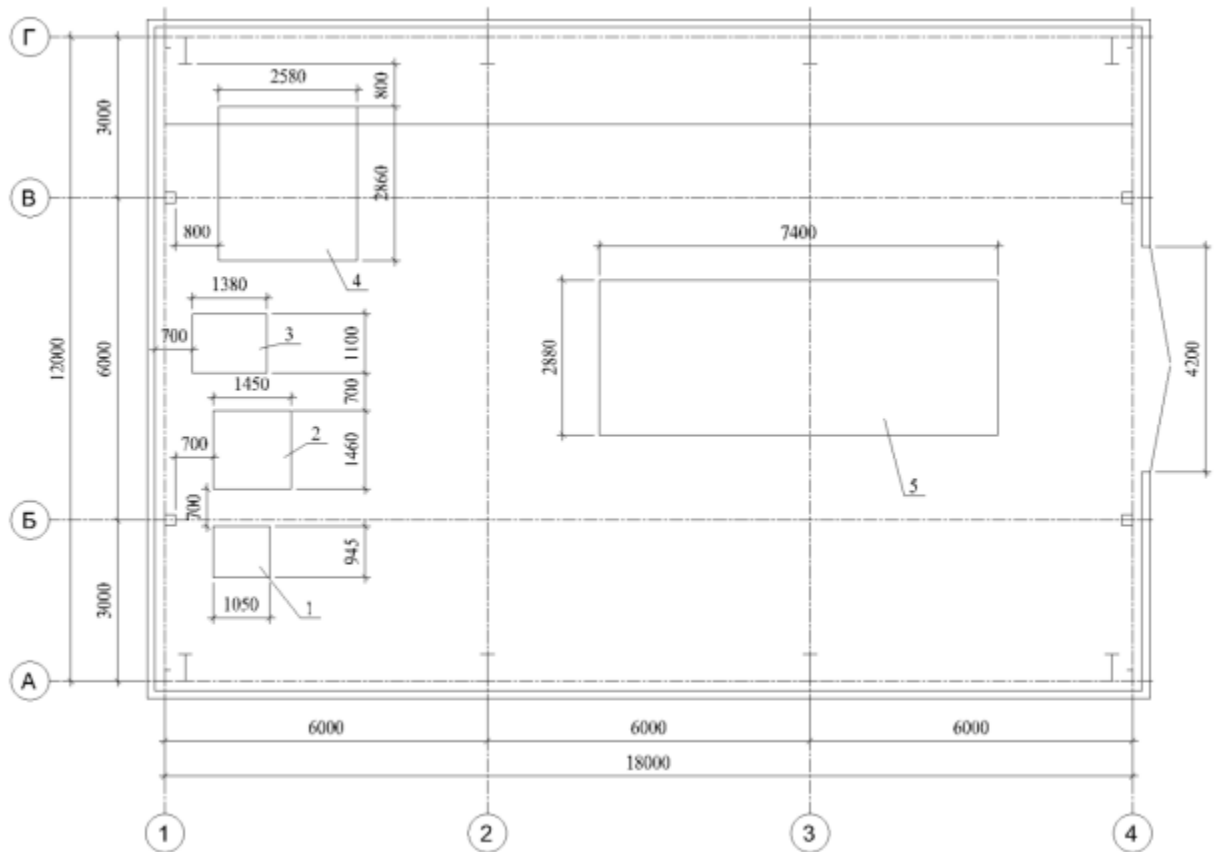


Рисунок 4.2 – План розміщення пост-технічного обслуговування

Категорія приміщення посту технічного обслуговування визначається залежно від його габаритів. Приналежність приміщення до тієї чи іншої категорії вибухопожежної та пожежної небезпеки встановлюється на основі співвідношення між вільним об'ємом приміщення V_0 та допустимим об'ємом $[V]$. Якщо виконується умова $V_0 > [V]$, приміщення класифікується як категорія В2. У разі, якщо $V_0 < [V]$, приміщення належить до категорії А з точки зору вибухопожежної та пожежної небезпеки [27].

У якості аварійної ситуації розглядається можливість розгерметизації одного газового балона. Для цього обчислюється вільний об'єм приміщення посту ТО за формулою [27]:

$$V_0 = 0,8 \cdot V_{\Sigma}, \quad (4.2)$$

де V_{Σ} - геометрично (будівельний) обсяг приміщення посту технічного обслуговування, м³; згідно з рисунком 4.29 при висоті стель 6 м

$$V_{\Sigma} = 1296 \text{ м}^3.$$

$$V_0 = 0,8 \cdot 1296 = 1037 \text{ м}^3.$$

Розмір допустимого обсягу приміщення розраховується за формулою [27]:

$$[V] = 346,5 \cdot M_{\Gamma} \quad (4.3)$$

де M_{Γ} – маса газу, що надійшов у приміщення внаслідок аварії, кг; згідно з рисунком 4.29 при висоті стель 6 м $V_{\Sigma} = 1296 \text{ м}^3$.

У балоні об'ємом 80 л (трактор РТМ-160) при тиску $P = 19,6 \text{ МПа}$ (200 кг/см²) може міститися максимальна кількість газу $M_{\Gamma} = 13,9 \text{ кг}$.

Тоді значення допустимого обсягу дорівнює:

$$[V] = 346,5 \cdot 13,9 = 4816 \text{ м}^3.$$

Отже, аналіз співвідношення вільного та допустимого об'ємів показує, що $V < [V]$, тобто це приміщення слід віднести до категорії А.

Розглянемо мінімальну кратність аварійної вентиляції, яка дозволяє перекласифікувати приміщення до категорії В2.

Згідно з даними хронометражу, при розриві трубопроводу, що з'єднує балони з двигуном, час витікання газу з одного балона об'ємом 80 літрів за початкового тиску $P_n = 19,6 \text{ МПа}$, становить $T = 0,06 \text{ год}$. Необхідна кратність повітрообміну, яка забезпечується аварійною вентиляцією, визначається за допомогою формули [27]:

$$[A] = \frac{1}{T} \cdot \left(433 \cdot \frac{M_{\Gamma}}{V_{\Sigma}} - 1 \right) \quad (4.4)$$

де T – тривалість надходження газу з балона в об'єм приміщення, годину.

$$[A] = \frac{1}{0,06} \cdot \left(433 \cdot \frac{13,9}{1037} - 1 \right) = 80 \text{ час}^{-1}$$

Розрахунок показав, що для переведення приміщення до категорії В2 необхідно забезпечити кратність повітрообміну не менше 80 обмінів за годину, що є практично нереальним. У зв'язку з цим приміщення остаточно класифікується як категорія А.

Згідно з нормативними вимогами [27], для приміщень категорії А передбачається аварійна вентиляція з восьмиразовим повітрообміном. Її об'єм L_A , виражений у м³/год, розраховується за формулою:

$$L_A = 8 \cdot V_{\Sigma} \tag{4.5}$$

$$L_A = 8 \cdot 1296 = 10368 \text{ м}^3/\text{год}$$

Увімкнення аварійної вентиляції слід передбачати від приладів, що сигналізують про небезпечну концентрацію газу в повітрі в приміщенні, дубльованих можливістю ручного пуску.

Загальнообмінна вентиляція передбачається з розрахунку асиміляції шкідливих викидів [28]:

$$L = \frac{G}{q_i - q_{in}} = \frac{G}{\text{ГДК} - \text{ГДК} \cdot 0,1} \tag{4.6}$$

де G – витрата (кількість) кожної з шкідливих або вибухонебезпечних речовин, що надходять у повітря приміщення, мг/год;

q_i – концентрація шкідливої або вибухонебезпечної речовини в повітрі, що видаляється з обслуговуваної зони приміщення, мг/м³;

q_{in} – концентрація шкідливої або вибухонебезпечної речовини, що надходить у повітря приміщення, мг/м³;

ГДК – гранично допустима концентрація відповідного

компонента, мг/м³.

Виділення шкідливих викидів на 1 трактор [29]:

Прогрів двигуна:

- оксид вуглецю – 11,2 г/год (ГДК = 20 мг/м³);
- вуглеводень – 1,52 г/год (ГДК = 300 мг/м³);
- діоксид азоту – 2,4 г/год (ГДК = 5 мг/м³);
- сажа – 0,12 г/год (ГДК = 4 мг/м³);
- діоксид сірки – 0,36 г/год (ГДК = 10 мг/м³).

Пробіговий викид при переїзді від трактора:

(Середній пробіг – 10 м/год, паливо – дизельне)

- оксид вуглецю – 0,051 г/год (ГДК = 20 мг/м³);
- вуглеводень – 0,009 г/год (ГДК = 300 мг/м³);
- діоксид азоту – 0,035 г/год (ГДК = 5 мг/м³);
- сажа – 0,0025 г/год (ГДК = 4 мг/м³);
- діоксид сірки – 0,0045 г/год (ГДК = 10 мг/м³).

Витрата повітря:

- оксид вуглецю $L = 625 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Вуглеводень $L = 5,66 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Діоксид азоту $L = 541 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Сажа $L = 34 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Діоксид сірки $L = 40,5 \text{ м}^3/\text{год}$;

Ефект суммації мають діоксид азоту і діоксид сірки, тобто:

$$L = 541 + 40,5 = 581,5 \text{ м}^3/\text{ч} .$$

Для забезпечення безпеки в приміщеннях, де обслуговується рухомий склад, що працює на газовому паливі, передбачається одноразовий розрахунковий повітрообмін. У зв'язку з наявністю постійних робочих місць, приміщення також повинно бути обладнане системою димовидалення.

Система автоматичного контролю повітряного середовища має активуватись при досягненні концентрації метану, яка становить 20% від нижньої межі

поширення полум'я. Крім того, приміщення необхідно обладнати легкоскиданими конструкціями для зниження ризиків у разі аварійної ситуації.

На основі аналізу можна зробити висновок, що приміщення для обслуговування техніки на газовому паливі слід відносити до категорії А. У таких приміщеннях слід використовувати іскрозахищені інструменти та обладнання у вибухозахищеному виконанні, а також передбачати системи димовидалення та аварійної вентиляції для забезпечення безпеки.

У зоні експлуатації підприємства необхідно передбачити розміщення таких об'єктів:

- Пости перевірки герметичності газобалонного обладнання тракторів (ГБТ).
- Пости для випуску стисненого природного газу (КПГ) та дегазації балонів.

Крім того, можливе облаштування таких зон:

- Постів для акумулювання КПГ.
- Ділянок для зберігання порожніх дегазованих балонів для КПГ.
- Постів миття тракторів із газобалонним обладнанням.
- Відкритих майданчиків для зберігання газобалонних тракторів.
- Майданчиків для розміщення пересувних газозаправних засобів.
- Майданчиків для стаціонарних газозаправних засобів.
- Зон складування порожніх дегазованих газових балонів.

Майданчик для посту перевірки герметичності повинен мати тверде, вогнетривке покриття. Його розміри мають враховувати найбільший розмір обслуговуваних тракторів із газобалонним обладнанням і додатково забезпечувати не менше одного метра вільного простору з кожного боку.

Для перевірки герметичності з'єднань газових трубопроводів і вентиляльних пристроїв, розташованих вище зони обслуговування, слід передбачити спеціальне обладнання та відповідні умови для безпечного доступу. Пост перевірки герметичності газобалонного обладнання повинен бути оснащений стаціонарними або пересувними сходами з технологічним майданчиком, який

розташовується на висоті, зручній для обслуговування найбільших за габаритами транспортних засобів. Цей пост може бути організований як на ділянці технічного обслуговування, так і на спеціально виділеному майданчику. Майданчик посту перевірки може мати навіс із вогнетривких матеріалів, виконаний без захисних конструкцій, або з огорожею, яка має отвори, що становлять не менше 35% площі кожної сторони огорожі.

Площадки для випуску та акумулювання газу, а також для дегазації балонів, повинні мати розміри, що забезпечують можливість в'їзду найбільших транспортних засобів із додатковим метром простору з кожного боку. Такі майданчики мають бути проїзними та обладнані:

- Сітчастою огорожею висотою не менше 1,5 м;
- Навісом із негорючих або важкогорючих матеріалів;
- Попереджувальними написами: «Обережно! Газ», «Не палити».

Майданчики повинні мати тверде вогнетривке покриття. Пости для випуску та акумулювання газу обладнуються шафами для розміщення щонайменше двох балонів із редукторами. Труби для випуску газу мають бути оснащені пристроями, що захищають від потрапляння атмосферних опадів.

Для підключення автомобілів до скидного трубопроводу та балонів із інертним газом для дегазації використовуються гнучкі шланги із заправними наконечниками та вентилями (трьохходовими кранами).

Зберігання випорожнених дегазованих балонів для КПП може здійснюватися у спеціальних приміщеннях або на відкритих майданчиках. Відкриті майданчики мають бути обладнані металевою сітчастою огорожею по периметру для обмеження доступу сторонніх осіб. Зони зберігання балонів можуть бути розташовані окремо або об'єднані з постом випуску КПП.

Відкриті майданчики для зберігання газобалонних автомобілів (ГБА) повинні бути обладнані твердим покриттям і забезпечувати ухили, які не перевищують 1% у поздовжньому напрямку осі автомобіля та 4% у поперечному.

На таких майданчиках дозволяється використовувати системи безполум'яного підігріву, включаючи інфрачервоні газові пальники, для полегшення запуску двигунів в умовах низьких температур (нижче $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому необхідно виключити можливість нагрівання газових балонів, встановлених на ГБА.

При організації технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ТР) газобалонного обладнання (ГБО), а також їх зберігання в закритих приміщеннях, можливе застосування двох схем роботи [30]:

СХЕМА 1: ГБО надходять у зону ТО, ТР або на зберігання з попередньо випорожненими балонами.

1. Рекомендована, коли вільний об'єм приміщень для ТО, ТР або зберігання ГБО менший за допустимий ($V_0 < [V]$).
2. У цьому випадку дотримуються стандартних вимог до виробничих приміщень для обслуговування техніки на рідкому паливі, і додаткових заходів для реконструкції приміщень не потрібно.

СХЕМА 2: ГБО надходять у зону ТО, ТР або на зберігання без попереднього випуску газу за умови герметичності газобалонного обладнання.

1. Рекомендована, якщо вільний об'єм приміщень більший за допустимий ($V_0 > [V]$).

Вибір схеми залежить від:

- об'єму використовуваних балонів;
- структури та кількісного складу автопарку;
- наявних виробничих приміщень і їхніх розмірів;
- технології ТО і зберігання ГБО;
- обсягу капітальних вкладень у створення виробничої бази підприємства.

Детальні вимоги до техніки безпеки під час експлуатації та ТО, а також перелік операцій для ТО-1, ТО-2 і СТО наведено в додатку А.

4.3 Висновки

Експлуатація газобалонних тракторів має суттєві переваги, однак супроводжується значними ризиками, пов'язаними з вибухопожежною небезпекою, збільшенням маси техніки та підвищеними вимогами до безпеки. Для забезпечення ефективної та безпечної роботи таких тракторів необхідно дотримуватися встановлених нормативів, проводити регулярний контроль герметичності обладнання та організувати технічне обслуговування відповідно до обраної схеми.

Особливу увагу слід приділяти створенню спеціалізованих зон для ТО, ТР та зберігання газобалонних тракторів, обладнаних відповідно до технічних і пожежних вимог. Важливо використовувати іскрозахищені інструменти, вибухозахищене обладнання та системи автоматичного контролю повітряного середовища.

Реалізація цих заходів, а також відповідність виробничих приміщень категорії А дозволить мінімізувати ризики вибухів і пожеж, забезпечити безпечні умови праці персоналу та підвищити надійність роботи газобалонного обладнання. Це сприятиме безпечному впровадженню газобалонних тракторів у сільськогосподарське виробництво та їх ефективній експлуатації.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

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

Газодизельний двигун ЯМЗ-238НДЗ трактора К-700 працює на суміші дизельного пального та метану, де 70% дизеля заміщується газом.

У процесі роботи частка метану в паливній суміші залежить від режиму навантаження, що забезпечує ефективне згоряння пального. Для встановлення економічного ефекту від заміщення палива стисненим газом виконаємо розрахунок за двома варіантами [31]: базового з використанням тільки дизеля та проектного з заміщенням 70 % дизельного палива метаном. Розрахунок виконуємо для об'єкта модернізації трактора К-700 що має річний наробіток 1100 мото-год.

Робота на дизелі:

Витрати дизельного пального на 1 мото-годину

$$В_{дм} = В_{пд} \cdot З_{д} = 25 \cdot 48 = 1200 \text{ грн/год} \quad (5.1)$$

де $З_{д}$ – вартість дизеля (станом на 2024 р.: 48 грн/кг;

$В_{пд}$ – середня витрата дизельного палива(оранка , культивуація) 25 кг/год.

Врахувавши річний наробіток трактора $T = 1100$ мото-год загальні витрати на дизельне пальне становитимуть:

$$В_{зд} = В_{дм} \cdot T = 1200 \cdot 1100 = 1320000 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Робота за газодизельним циклом:

Витрати пального на 1 мото-годину:

$$V_{гдм} = 0,3 \cdot (V_{пд} \cdot Z_{д}) + (V_{пг} \cdot Z_{г}) \quad (5.3)$$

де $Z_{г}$ – вартість метану, станом на 2024 рік, 28 грн/м³;

$V_{пг}$ – витрати газового палива на оранці становлять 20 м³/год.

$$V_{гдм} = 0,3 \cdot 25 \cdot 48 + (20 \cdot 28) = 920 \text{ грн/год}$$

Врахувавши річний наробіток трактора загальні витрати на пальне становитимуть:

$$V_{згд} = V_{гдм} \cdot T = 920 \cdot 1100 = 1012000 \text{ грн} \quad (5.4)$$

Загальна економія від заміщення дизеля становитиме:

$$E_{п} = V_{зд} - V_{згд} = 1320000 - 1012000 = 308000 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Витрати на переобладнання техніки

Вартість обладнання для переведення трактора К-700 з двигуном ЯМЗ-238НДЗ становить для роботи за газодизельним циклом склала 155 тис. грн. Обладнання встановлено кваліфікованими працівниками з сертифікацією. Вартість установки та налагодження склала 52 тис. грн

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

$$V_{інв} = V_{ГБО} + V_{УН} = 155000 + 52000 = 207000 \text{ грн} \quad (5.6)$$

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

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

Врахувавши отримані показники ефективності та інвестицій визначимо термін окупності модернізації трактора К-700А за формулою:

$$\text{Ток} = \frac{V_{\text{інв}}}{E_{\text{п}}} = \frac{207000}{308000} = 0,67 \text{ року} \quad (5.7)$$

Результати розрахунку зведено в таблицю 5.1

Таблиця 5.1 – Економічний ефект модернізації трактора К-700А

Показники	Варіанти		Проектний варіант (+/-) до базового
	Базовий К-700А	Проектний К-700АМ	
Річна завантаженість трактора, мото-год	1100	1100	-
Вартість дизельного палива, грн/кг	48	48	-
Вартість метану, грн/м ³	-	28	-
Витрати дизеля, кг/год	25	7,5	-12
Витрати СПГ «Метан», м ³ /год	-	20	20
Загальні витрати на дизельне паливо, грн/рік	1320000	396000	-924000
Загальні витрати на СПГ «Метан» та дизель грн/рік	-	616000	313600
Загальні витрати на паливо, грн/рік	1320000	1012000	-308000
Інвестицію в модернізацію трактора, грн	-	207000	207000
Економічний ефект проекту, грн/рік	308000		
Термін окупності проекту, років	0,67		

Висновки:

Перехід трактора К-700 на роботу за газодизельним циклом є ефективним способом зниження витрат на паливо та підвищення економічної доцільності його експлуатації. Використання метану для заміщення 70% дизельного пального дозволяє суттєво знизити річні витрати на пальне (з 1 320 000 грн до 616 000 грн), забезпечуючи економію 308 000 грн на рік.

Інвестиційні витрати на встановлення газобалонного обладнання та його сертифікацію складають 207 000 грн, що окупуваються менш ніж за один рік (0,67 року), демонструючи високу ефективність проекту.

Крім економічних переваг, перехід на газодизельний цикл сприяє зменшенню використання дизельного пального, покращенню екологічної ситуації та зниженню залежності від традиційного дизельного палива.

Загалом модернізація трактора К-700 підтверджує доцільність впровадження газодизельної технології в сільськогосподарському виробництві, забезпечуючи швидку окупність і довготривалі економічні вигоди.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. В результаті проведеного аналізу встановлено що переведення дизельного двигуна на газодизельний цикл роботи дозволяє замістити від 65 до 70 відсотків дизельного палива газом, що дозволяє зменшити залежність господарства від палив нафтового походження. Та підвищити ефективність експлуатації техніки за рахунок використання більш дешевого газоподібного палива. Використання газоподібних палив знижує токсичність відпрацьованих газів дизеля до норм Євро-4.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- встановлено актуальність переведення трактора загального призначення К-700 з двигуном ЯМЗ-238НД на роботу за газодизельним циклом.

- встановлено значення граничних статичних кутів трактора К-700 за умови розміщення додаткового газобалонного обладнання. Показники кутів змінилися не суттєво в межах норми. Так значення граничного кута підйому становить: для трактора без газових балонів та без плуга $\alpha_{limПД} = 51,1^\circ$, для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\alpha_{limПД} = 44,4^\circ$, для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\alpha_{limПД} = 44,9^\circ$. Значення граничного статичного кута поперечного перекидання становить: для трактора без газових балонів та без плуга $\beta_{limУХ} = 35,3^\circ$, для трактора, оснащеного газовими балонами без плуга $\beta_{limУХ} = 33,1^\circ$, для трактора, оснащеного газовими балонами з плугом $\beta_{limУХ} = 32,6^\circ$, встановлено, що при роботі машино тракторного агрегата в складі трактора К-700 + ПЛН-8-35 за рахунок обраної схеми розміщення 24 балонів на задній вісі, зросла зчїпна вага, а відповідно тягові показники та прохідність трактора.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- на польових дослідженнях газодизельного трактора К-700А в агрегаті з плугом ПЛН-8-35 доведено працездатність запропонованої системи регулювання потужності газодизеля за принципом ежекції.

- встановлено, що використання системи розподіленої подачі газоподібного та дизельного палива за ежекційним принципом дозволяє знизити вміст шкідливих викидів у відпрацьованих газах двигуна до вимог, які регламентуються нормами ЄВРО-4.

- встановлено, що на малих та холостому ходу відбувається підвищення викидів вуглеводнів, що підтверджує доцільність переходу на дизельний режим за таких умов.

- встановлено мінімальну розбіжність з теоретичними значеннями граничних статичних кутів агрегату, що свідчить про точність моделювання та реалістичність проведених досліджень. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями кутів становила не більше 3,8%, що є прийнятним у межах погрішності.

4. Експлуатація газобалонних тракторів має суттєві переваги, однак супроводжується значними ризиками, пов'язаними з вибухопожежною небезпекою, збільшенням маси техніки та підвищеними вимогами до безпеки. Для забезпечення ефективної та безпечної роботи таких тракторів необхідно дотримуватися встановлених нормативів, проводити регулярний контроль герметичності обладнання та організовувати технічне обслуговування відповідно до обраної схеми.

5. Перехід трактора К-700 на роботу за газодизельним циклом є ефективним способом зниження витрат на паливо та підвищення економічної доцільності його експлуатації. Використання метану для заміщення 70% дизельного пального дозволяє суттєво знизити річні витрати на пальне (з 1 320 000 грн до 616 000 грн), забезпечуючи економію 308 000 грн на рік.

Інвестиційні витрати на встановлення газобалонного обладнання та його сертифікацію складають 207 000 грн, що окуповуються менш ніж за один рік (0,67 року), демонструючи високу ефективність проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улексін В.О. Робота автотракторних дизелів на газі / Улексін В.О, Бабич А.С., Кухаренко П.М. – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2006. – 126с.
2. Равкінд, О. А. Уніфіковані дизельні двигуни [Текст] / О . А. Равкінд. - М.: Надра, 1967. - 196 с.
3. Загородських, Б. П. Діагностика роботи паливної системи живлення двигунів газоподібним паливом під час роботи з газодизельним циклом на прикладі трактора ХТЗ-150К [Текст] Б . П. Загородських, Удосконалення технологій та організації забезпечення працездатності машин: зб. наук. пр. ВНАУ- Вінниця, 2011. - С . 74-89.
4. Кухаренко П.М. Особливості застосування газоподібного палива на сільськогосподарських тракторах. /Праці ТДАА, т.17, вип. 2. Мелітополь, 2001. С. 107-113.
5. Колодочка, В. В. Використання газоподібного палива в тракторних двигунах сільськогосподарського призначення / В. В. Колодочка, Н. В. Осавул // Вісник СНАУ. - 2012. - № 12. - С. 54–57
6. Колодочка, В. В. Обґрунтування зниження нерівномірності подачі газу в циліндри двигуна при роботі з газодизельним циклом / В. В. Колодочка, Н. В. Осавул // Науковий огляд. – 2012. – № 5. – С. 41–43.
7. Газобалонный трактор./Н.Е.Основенко,Ю.В.Сиянко,А.Е.Попов, А.Е.Глеза // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1992, № 10-11. С.25 – 27.
8. Газобаллонные автомобили: Справочник/А.И. Морев, В.И. Ерохов, Б.А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
9. Газодизель на трактор./Н.Е.Основенко,Ю.В.Сиянко,А.Е.Попов, А.Е.Глеза // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1993, № 3. С.21 – 24.

10. Володін, В. В. Обґрунтування розташування газових балонів трактора МТЗ-82.1 під час роботи в газодизельному циклі / В. В. Володін, Н. А. Чельцов // Аграрний науковий журнал. – 2015. – № 7. – С. 48–51.

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

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

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

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

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

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

17. Хачіян, А. З. Світ напередодні різкого збільшення застосування альтернативних палив у двигунах внутрішнього згоряння [Текст] / А . З. Хачіян, В. Е. Кузнєцов, І . Г. Шишлов // Автогазозаправний комплекс + альтернативне паливо. - 2006. - № 1 (25). - З . 34-35.

18. <https://kievspecteh.com/catalog/tractory/traktor-belarus-821>

19. Наумов, О. П. Підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів на операціях обробітку ґрунту газодизельними енергозасобами: на прикладі трактора К-701 [Текст]: / Наумов Олег Павлович. - Полтава, 2010. - 156 с.

20. Трактори Білорусь сімейств МТЗ та ЮМЗ. Посібник з будови, роботи та технічного обслуговування трактора. – Київ: Ранок, 2018. – 187 с.
21. Єфанов, Є. В. Поліпшення екологічних характеристик дизеля регулюванням складу сумішевого біопалива [Текст]: Є.В . Єфанов. -Вінниця, 2009. - 136 с
22. Методика проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу для автотранспортних підприємств (розрахунковим методом) [Текст]: Міністерство транспорту Україна. 1998. - 31 с
23. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]: СП60.13330.2012: утв . наказом № 223 введення в дію з 01.01.13. - Україна, 2012. - 91 с..
24. Гусак, В. В. Трактори: Теорія / В. В. Гусак, Н. Н. Акуліч [та ін]. - Мінськ.: Машинобудування. - 2008. - 376 с.
25. Підприємства з обслуговування автомобілів. Відомчі будівельні норми [Текст]: ВСН 01-89. -:Україна, 1990. - 27 с.
26. Безп'ятий, Ф. С. Конструкція, основи теорії та розрахунок трактора / Ф. С. Безп'ятий, І. Ф. Троян. - К.: Машинобудування, 2010. - 502 с
27. Вимоги пожежної безпеки для підприємств, експлуатують автотранспортні засоби на компримованому природному газі [Текст]: РД 3112199-98: Україна 1998. - 27 с..
28. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]: СП60.13330.2012: утв . наказом № 243 Україна : введення в дію з 01.01.13. -2012. - 72 с.
29. Методика проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу для автотранспортних підприємств (розрахунковим методом) [Текст]: Україна: введення у дію 01.01.1999. - М., 1998. - 33 с.
30. Зріджений природний газ. Фізико-хімічні, енергетичні та експлуатаційні властивості: Довідник [Текст] / За ред. І.Л. Ходоркова. - СПб.: ЗАТ "Кріонорд". - Хіміздат, 2003. - 64 с.
31. Головач, С. П. Оцінка ефективності переведення транспорту на СПГ [Текст]/С. П. Головач // Технічні гази. 2005. - № 5.- С.35-40

ДОДАТКИ

Додаток А
Об'єкт досліджень трактор К-700А



Колісний трактор загального призначення

Двигун (марка): ЯМЗ-238 НДЗ

Пальне: дизель

Номинальна потужність: 223 кВт/ 300 к.с

Робоча швидкість, км/год: 2,8-15

Транспортна швидкість, км/год: 30

Максимальна швидкість, км/год: 38

Об'єм паливного баку, л: 450

Гальма: Колодкові , пневматичний привід

Підвіска кабіни: стандартна

Колеса та шини: односкатні бездискові розмір в дюймах **23,1/18-26**

Радіус повороту, м: 7

Загальна довжина/ширина/висота, мм: 7235 / 2530 / 3225

Поздовжня база 3050

Ширина колії 1910

Вага (власна/дозволена повна), кг:

конструктивна 11 000

експлуатаційна 12000

Додаток Б

СКЛАДОВІ ГАЗОБАЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ МЕТАНОМ

Подача газу здійснюється індивідуально за ежекційним способом до кожного з циліндрів газовими форсунками.

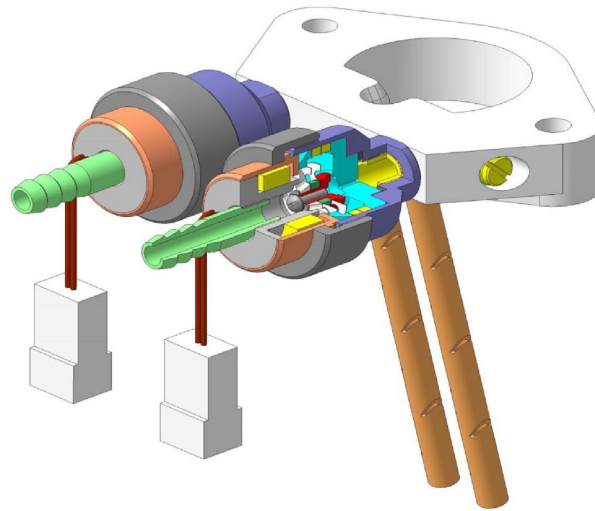


Рисунок 1 – Газові форсунки-змішувачі



Рисунок 2 – Балони - CNG-3 100

Балони для системи підбираємо за ваговим коефіцієнтом в межах 0,65-0,78, робочим тиском 20 МПа, досить поширеної марки CNG3-100 з такими габаритно масовими показниками: діаметр – 0,3 м, довжина – 1,168 м

Балони обладнано запірною арматурою вентилями компанії «ТОМАСЕТТО» (Італія) (рис. 3) призначені для виконання ремонтних робіт та операцій з обслуговування ГБО.



Рисунок 3—Запірний вентиль VMAT6702 з запобіжним клапаном

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



Рисунок 4 – Заправний вентиль VMAT5412 з зворотнім клапаном

Редуктор Томасетто АТ-12 для двигунів з потужністю до 300 к.с. Робочі параметри високий тиску газу до 20 МПа, зниження тиску до 0,3...0,5 МПа.

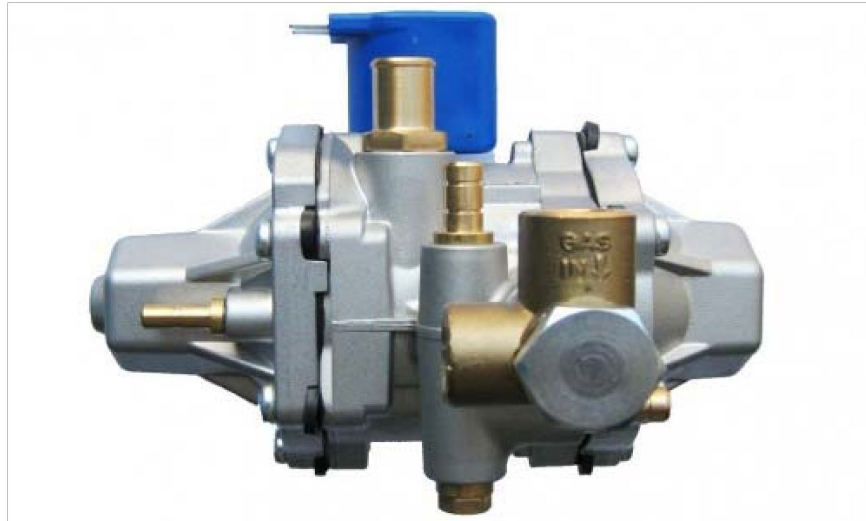


Рисунок 5– Газовий редуктор Томасетто АТ-12

Керування редуктором здійснюється за допомогою штатного електронного блоку від компанії Digitronic (Італія) Завдяки взаємодії блока з датчиками підтримується необхідний алгоритм роботи системи подачі газу та дизеля.



Рисунок 6 – Блок керування газодизелем Digitronic iQ 3D 8

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



Рисунок 7 – Датчик тиску DIGITRONIC

Регулювання потужності газодизеля здійснюємо за допомогою електронної педалі.



Рисунок 8 – Педаль електронна МАН