

Шифр «Газовий трактор»

Наукова робота

Напрямок конкурсу «Автомобілі і трактори»

**«Дослідження експлуатаційних показників технологічних
транспортних засобів з газовими двигунами»**

2020

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Одним з енергоносіїв при виробництві продукції є нафтове паливо, яке використовується для всіх транспортних засобів. В той час, коли ціни на палива безперервно зростають, ціна на природний газ (ПГ) залишається приблизно в два рази меншою за ціну рідких моторних палив. Тому експлуатація технологічного транспорту на ПГ є доцільною.

Переведення автотракторної техніки, яка знаходиться в експлуатації, на альтернативні палива призводить до зміни ряду її експлуатаційних якостей та в більшості випадків вимагає конструктивних змін технічних засобів. Це стосується і такого виду палива як ПГ. Але якщо використання ПГ на автомобілях вже набуло значного поширення, то його використання на технологічних транспортних засобах (ТТЗ) до цього часу є обмеженим.

ПГ розглядається як альтернативний замітник нафтових палив, особливо із-за можливості досягнення значного економічного ефекту та низьких викидів забруднюючих речовин, що на сьогодні є надзвичайно актуальним.

Високі моторні властивості природного газу, зокрема, його октанове число, забезпечують можливість використання високих ступенів стискання і тому забезпечують більш високу економічність у порівнянні з бензиновими двигунами. Покращення паливної економічності порівняно з дизелями залежить від способу конвертації для роботи на ПГ. У всіх випадках переведення техніки для роботи на ПГ спостерігається суттєве покращення екологічних показників.

Значних успіхів при конвертації газових двигунів з дизелів досягли розробки таких компаній та установ: Mercedes-Benz, MAN, Volvo, Scania, Iveco, Nissan, МАДИ, ВНИИГАЗ, НАМИ, ІПМаш, ХНАДУ, Луцький НТУ.

При використанні ПГ спостерігаються як покращення так і погіршення експлуатаційних якостей ТТЗ. Основними перевагами використання ПГ є: економічний та екологічний ефекти, збільшення ресурсу двигуна та ін. Поряд з перевагами використання ПГ транспортними засобами є і ряд недоліків, які обмежують використання цього виду палива: проблеми заправки, зміна деяких

експлуатаційних якостей, збільшення ваги та зменшення корисного простору в транспортному засобі, підвищені вимоги до пожежної безпеки.

Тому дослідження впливу використання ПГ в ТТЗ на деякі експлуатаційні показники є актуальною науково-технічною задачею, яка вирішується в даній магістерській роботі.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації технологічних транспортних засобів шляхом використання ПГ.

Для дослідження мети в магістерській роботі вирішуються наступні **завдання**:

1. Аналіз експлуатаційних якостей ТТЗ, можливості використання ПГ та способи конвертації дизелів в газові двигуни, аналіз переваг та недоліків використання ПГ в ТЗ.

2. Теоретичне обґрунтування використання газобалонного обладнання (ГБО) на ТТЗ на прикладі колісного трактора МТЗ-80.

3. Проведення розрахунково-експериментальних досліджень стійкості та тягово-зчіпних властивостей колісного трактора МТЗ-80 з ГБО.

Об'єкт дослідження – експлуатаційні показники колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном.

Предмет дослідження – вплив використання ПГ та експлуатаційні показники колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном при використанні його як ТТЗ.

Методи дослідження передбачали математичні розрахунки параметрів стійкості та тягово-зчіпних властивостей колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном.

Практичне значення одержаних результатів складають результати розрахунку стійкості та тягово-зчіпних властивостей колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном при використанні його як ТТЗ

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ.....	5
1.1. Технологічні транспортні засоби та їх експлуатаційні показники.....	5
1.2. Природний газ, як моторне паливо та його характеристика. Аналіз способів переобладнання дизелів для роботи на природному газі.....	6
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОБАЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ.....	14
2.1 Конструктивні особливості колісного трактора МТЗ-80 з газобалонним обладнанням.....	14
2.2 Рекомендації щодо переобладнання дизелів колісних тракторів у газові двигуни з іскровим запалюванням.....	18
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТІЙКОСТІ ТА ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА МТЗ-80 З ГАЗОБАЛОННИМ ОБЛАДНАННЯМ.....	21
3.1. Визначення розміщення центрів ваги колісного трактора МТЗ-80 та газобалонного обладнання.....	21
3.2. Оцінка граничних статичних кутів стійкості колісного трактора МТЗ-80 з газобалонним обладнанням.....	24
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

РОЗДІЛ 1 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ

1.1. Технологічні транспортні засоби та їх експлуатаційні показники

Технологічний транспортний засіб – великотоннажні й інші технологічні автомобілі, гусеничні і колісні трактори, у тому числі з навісним обладнанням, інші машини і механізми на їхньому шасі, автотракторні причепа і напівпричепа, причіпні механізми, скрепера самохідні і причіпні, вантажопідйомні та інші машини на спеціальному самохідному шасі, самохідна дорожньо-будівельна техніка, навантажувачі всіх типів, авто- і електрокари, електровізки та інші, що не підлягають експлуатації на вулично-дорожній мережі загального користування [1].

Кількість показників транспортних машин велика. Для розуміння цих показників їх необхідно згрупувати по різним ознакам, утворюючи ієрархічну систему, яка включає якість, великі групові властивості (надійність, екологічні, експлуатаційні властивості та ін.), одиничні властивості.

Технологічні транспортні засоби – складні машини, вимоги які ставлять до них настільки різноманітні, що для їх задоволення необхідна наявність ряду властивостей. Ці властивості в комплексі повинні характеризувати ефективність роботи в тих чи інших умовах.

Для оцінювання досконалості технологічних транспортних засобів необхідно розглядати їх експлуатаційні властивості.

Експлуатаційні властивості – це група властивостей, які визначають ступінь пристосованості транспортного засобу до експлуатації в якості специфічного (наземного колісного, безрейкового, тощо). Ці властивості можна розділити на ряд показників, які забезпечують рух: тягово-швидкісні, гальмівні, паливну економічність, керованість, стійкість, маневреність, плавність ходу та спеціальні властивості (рис. 1.1) [2].

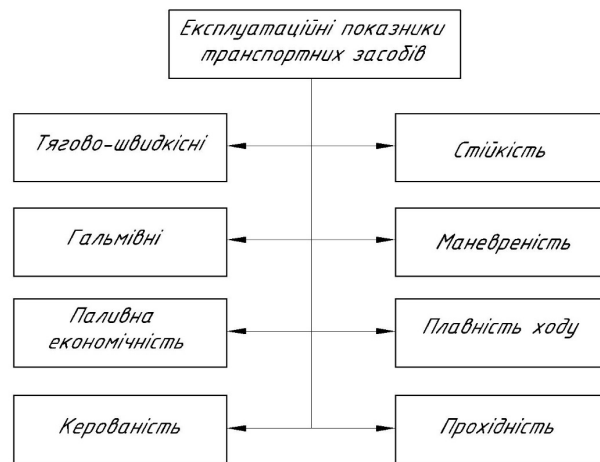


Рисунок 1.1 – Експлуатаційні показники транспортних засобів

При переобладнанні технологічних транспортних засобів для роботи на альтернативних видах палив, деякі з експлуатаційних якостей можуть змінюватись (тягово-швидкісні, паливна економічність, стійкість та ін). Тому дослідження змін експлуатаційних показників таких транспортних засобів є актуальною задачею.

1.2. Природний газ, як моторне паливо та його характеристика. Аналіз способів переобладнання дизелів для роботи на природному газі

Сучасна світова тенденція виснаження легкодоступних покладів вуглеводнів, на фоні зростання попиту на них, визначає суттєві зміни у світовій системі розподілу енергоресурсів і обмежує зростання економік енергетично залежних країн, до яких належить і Україна. У цих умовах перед нашою країною стає проблема послаблення зовнішньої нафтової залежності України шляхом структурної модернізації національного паливного комплексу з метою забезпечення енергетичної самодостатності національної економіки за рахунок інтенсифікації використання власних джерел енергетичних ресурсів, зменшення їх імпорту та пошуку альтернативних джерел енергії.

Енергетична безпека України є невід’ємною складовою національної безпеки, необхідною передумовою існування та розвитку держави, яка залежить

від внутрішніх ресурсів, балансу імпорту та експорту енергетичних ресурсів, структури їх надходження та споживання, геополітичної стабільності держави. На перше місце постає проблема енергоефективності, тобто, раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів.

У зв'язку з критичним подорожчанням нафти проблема забезпечення транспорту енергоресурсами визнана в США, у країнах Євросоюзу та більшості інших країн світу проблемою національної безпеки, для вирішення якої втілюють надзвичайні заходи з розширення використання альтернативних видів палива та підвищення енергоефективності транспортного засобу [3].

Європейська рада і Парламент пропонують країнам-учасникам збільшувати частку альтернативних видів палива наступними темпами (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Темпи зростання частки альтернативних палив в країнах Євросоюзу

Вид палива	Рік			
	2010	2015	2020	2025
Біопалива, % об. (за енергоемністю)	6	7	8	10
Природний газ, % об.	2	5	10	15
Водень, % об.	-	2	5	8
Всього, % об.	8	14	23	33

В Україні також спостерігається стала тенденція до збільшення попиту на нафту й нафтопродукти. За прогнозними розрахунками, вже у 2030 р. споживання нафти зросте до 24 млн т щороку (проти 15,5 млн т у 2008 р.) [3].

Одним з найбільш перспективних альтернативних палив на транспорті є ПГ. Хороші фізико-хімічні властивості ПГ, його значні запаси, розвинута мережа доставки у різні регіони країни магістральними газопроводами та екологічні переваги у порівнянні з традиційними видами палив дозволяють розглядати ПГ як найбільш перспективне та універсальне моторне паливо України XXI ст.

ПГ – суміш газів, що утворилася в надрах землі при анаеробному розкладанні органічних речовин. Як правило, це суміш газоподібних вуглеводнів (метану, етану, пропану, бутану тощо), що утворюється в земній корі та широко використовується як високоекономічне паливо.

Приклад компонентного складу ПГ, що відпускається на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС), може бути таким: метан (96-97,6%), етан (1,24-1,88%), пропан (0,30-0,57%), ізобутан (0,04-0,083%), *n*-бутан (0,04-0,09%), пентани (0,018-0,032%), гексани(0,001-0,004%), азот (0,7-0,82%), діоксид вуглецю (0,05-0,021%), кисень (0,007-0,008%). [4].

Фізико-хімічні і експлуатаційні характеристики ПГ та інших палив, наведені в табл. 1.2.

Переведення транспортних засобів на ПГ має велике економічне і екологічне значення. Це звільняє ресурси рідкого палива і знижує забруднення навколишнього середовища. За підрахунками екологів, у великих містах біля 70% всіх шкідливих викидів в атмосферу приходиться на долю автомобілів.

Збільшення обсягів використання ПГ може зменшити навантаження на ринок нафтопродуктів України у 2015 році – на 7,8%, у 2030 році – на 14,4%. При цьому, прогноуються невеликі витрати на модифікацію та переоснащення технічних засобів, швидка окупність відповідних проектів [4].

Таблиця 1.2 – Фізико-хімічні і експлуатаційні характеристики ПГ та інших палив

Показник	Дизельне паливо	Природний газ	Етанол	Біодизельні палива
В'язкість при 20°C, мм ² /с	3,5-6,0	–	1,76	3,5-8,0
Октанове число	–	100-110	106	20-25
Цетанове число	40-45	–	8	50-55
Відношення С/Н	6,5	3	4	6,5
Нижча теплота згоряння, МДж/кг (МДж/м ³)	42-43	49-50	25	37-38
Теплота згоряння паливоповітряної стехіометричної суміші, МДж/м ³	3,4	3,2	3,6	>3,4
Кількість повітря, потрібна для повного згоряння 1 кг палива, кг	14,0-14,5	17,0-17,5	8,5	13,5-14,5

ПГ характеризується суттєвими перевагами в порівнянні з іншими паливами нафтового походження (бензин, дизельне паливо):

- високі моторні властивості ПГ, зокрема, його октантові числа, забезпечують можливість використання високих ступенів стискання (до 14) і тому забезпечують більш високу економічність у порівнянні з бензиновими двигунами. Покращення паливної економічності порівняно з дизелями залежить від способу конвертації для роботи на ПГ;

- двигуни які працюють на ПГ в значно меншій кількості викидають газоподібні шкідливі речовини;

- при використанні ПГ істотно нижчі питомі викиди вуглекислого газу, надлишок якого в атмосфері порушує тепловий баланс планети [5].

- при використанні природного газу істотно знижуються витрати на паливо-мастильні матеріали;

- при використанні ПГ, як правило, збільшується моторесурс двигуна до капітального ремонту в 1,5 рази;

- при порівнянні з дизелем у газовому двигуні з іскровим запалюванням рівень шуму нижчий на 3-6 дБ.

В той же час ПГ як моторне паливо має недоліки, які на сьогодні обмежують масштаби його застосування:

- суттєвим недоліком ПГ є низька концентрація енергії в одиниці об'єму, яка майже в тисячу разів менша, ніж у рідкого нафтового палива. Це потребує зберігати газ на борту автомобіля в стиснутому (до 20 МПа) або в зрідженому стані, а також необхідна густа мережа автомобільних газонаповнювальних станцій (АГНКС) [6];

- висока температура займання (більше 600 °С) ПГ в суміші з повітрям утруднює пуск двигуна при низьких температурах. Експлуатаційні властивості ПГ суттєво змінюються з підвищенням вмісту вологи, яка може призвести до утворення кристало-гідратів газу в редукторі газобалонної установки автомобіля і припинення надходження палива в циліндри двигуна [6];

- висока трудомісткість ТО газобалонних автомобілів та обов'язкова періодична перевірка придатності балонів, яка передбачає їх демонтаж [7];
- одним з основних недоліків використання СПГ в якості моторного палива на рухомому складі автомобільного транспорту є суттєве зниження потужності транспортних засобів при живленні ПГ [7].
- викиди в атмосферу метану;
- складніша система подачі палива в двигун, що включає балони, редуктори і т.п.;
- підвищуються вимоги у відношенні вибухо-, пожежобезпеки.

Враховуючи особливість паливно-енергетичного балансу України, можна упевнено прогнозувати зростання труднощів із забезпеченням потреб транспорту у високооктанових бензинах та дизельних палив. Єдиною реальною альтернативою цієї проблеми є застосування ПГ, широке впровадження якого, як моторного палива дозволяє кардинально вирішити проблему забезпечення транспорту України, водночас покращуючи екологічний стан держави.

Незважаючи на вказані недоліки, природний газ розглядається як альтернативний замінник нафтових палив, особливо завдяки суттєвій економії паливних ресурсів та можливості досягнення дуже низьких викидів шкідливих речовин, що на сьогодні є надзвичайно актуальним.

Створення газових двигунів, які мають найкращі економічні та екологічні показники, свідчить про переваги конвертації дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням [8, 9].

Даний напрямок найбільш оптимальний, так як модернізація базового двигуна дешевша за розробку нової моделі, через те, що базові і основна частина інших деталей не потребують ніяких змін. Щоб переобладнати дизель у газовий варіант, його дообладнують системою запалювання; замість форсунок в головці циліндрів встановлюють свічки запалювання та встановлюють систему живлення газом.

Серед газових двигунів переобладнаних з дизелів слід розглянути наступні розробки таких компаній: Mercedes-Benz, MAN, Volvo, Scania, Iveco, Nissan.

Mercedes-Benz виробляє міські автобуси 0405NE і GNE, які працюють на ПГ. На автобусах встановлений газовий двигун з іскровим запалюванням M477h з наступними конструктивними змінами: встановлено електронну систему запалювання з котушками на кожен циліндр; знижено ступінь стиску з 17 до 12,5 одиниць; застосування свічок запалювання з платиновими електродами; зміна головки циліндрів і впускного трубопроводу; підвищення термостійкості випускних клапанів; надійне газове обладнання. Пробіг автобусів складає 280 – 300 км [10].

Сучасні розробки автобусів Mercedes-Benz Citaro CNG та Citaro CNG відповідають екокласу Євро-5 та можуть працювати як на ПГ так і на біогазі [11].

Фірма MAN також конвертує свої дизелі для роботи ПГ. Базовим для газового двигуна було прийнято дизельний шести циліндровий двигун D28 робочим об'ємом 11967 см³. Для зменшення ступеня стиску було розроблено нові поршні із збільшеною камерою згоряння. Застосовується система живлення і запалювання з електронним керуванням. Такий спосіб живлення забезпечує низьку витрату газу та низькі концентрації шкідливих речовин [12].

Автобуси MAN Lion's City A21 CNG відповідають екологічному стандарту Євро-5. Загальний об'єм газу складає 1712 л якого вистачає на 1000-1200 км пробігу [13].

Компанія Volvo розробила міський автобус моделі 7900 який оснащено газовим двигуном переобладнаним з дизеля. Двигун може працювати на ПГ та біометані, відповідає екологічним вимогам Євро-5.

Також цією компанією представлено вантажівку FM LNG з газовим двигуном G13C переобладнаним з дизеля. Двигун потужністю 420 або 460 к.с. та крутним моментом 2100 та 2300 Нм відповідає вимогам Євро-6 step C, при цьому викиди CO₂ зменшуються на 20%. Запас ходу вантажівки близько 1000 км [14].

Фірма Scania випускає автобуси які живляться ПГ. Газовий двигун рядний шестициліндровий, об'ємом 5960 см³, розвиває потужність 260 к.с. Система

живлення і запалювання керується електронікою та є турбонаддув. Двигун є досить економічним: питома витрата газу складає 192 г/кВт·год. Шкідливі викиди відпрацьованих газів автобуса Scania Omni Link вкладаються у вимоги Євро-5 [15].

Також випускаються газові автобуси Scania Enviro 400 з двигуном конвертованим з дизеля. Двигун 5-циліндровий, робочим об'ємом 9000 см³ потужністю 280 к.с. Тиск в газових балонах становить 300 бар, що забезпечує пробіг 300-350 км між заправками. Двигун відповідає екологічним вимогам Євро-4 [15].

Фірма Iveco на базі свого шестициліндрового рядного дизеля розробила газовий двигун моделі 8469.21 (Євро 5) з іскровим запаленням для вантажних автомобілів і автобусів потужністю 190 кВт. Ступінь стиску знижений з 17 до 10 одиниць. Двигун обладнаний електронною системою управління подачею газу, електронною системою запалювання, трикомпонентним нейтралізатором [16].

Автобус Iveco Daily CNG відповідає вимогам Євро-6. Двигун є біпаливним, основним паливом є ПГ. Також в Європі експлуатується ще один газовий автобус Iveco Crealis CNG з сучасним газовим двигуном [16].

Фірма Nissan розробила газовий двигун на базі дизеля. Двигун потужність 173 кВт, ступінь стиску знижено з 18 до 11, в кожному циліндрі розміщені по дві свічки запалювання. Газовий двигун обладнаний газотурбінним наддувом. Розробка відповідає екологічним вимогам Євро-5 [17].

Також широко виконуються науково-дослідні роботи з переобладнання дизелів у газові двигуни в країнах СНГ: МАДИ, ВНИИГАЗ, НАМИ, ППМаш, ХНАДУ, Луцький НТУ.

У Московському автомобільно-дорожньому інституті (МАДИ) була виконана робота з конвертації дизеля КамАЗ-740 в газовий двигун [18]. Конвертований газовий двигун має такі ж енергетичні і економічні показники як базовий дизель. Викиди шкідливих речовин задовольняють нормам EURO-2.

Співробітниками центрального науково-дослідного автомобільного і автомоторного інституту (НАМИ), проводилися переобладнання газового

двигуна, створеного на базі дизеля ЯМЗ. Двигун оснащувався газовою апаратурою, системою запалювання і мікропроцесорною системою керування [19]. Газовий двигун оснащується турбонаддувом і системою нейтралізації відпрацьованих газів. Газовий двигун відповідає вимогам Правил ЄЕК ООН рівня Євро-3.

В науково дослідному інституті механізації сільського господарства Російської академії сільськогосподарських наук (ГНУ ВІМ Россельхозакадемії) проводились стендові дослідження двигуна Д-243 переобладнаного для роботи на СПГ. Дослідження показали, що номінальна потужність газового двигуна є однаковою з потужністю дизеля [20].

В Інституті проблем машинобудування НАН України (ІПМаш) створений газовий двигун з іскровим запалюванням на базі тракторного дизеля Д-21А. Ступінь стискання знизили до 9,5. Під час роботи на ПГ досягнуто потужності 18,4 кВт. У відпрацьованих газах відсутня сажа та зменшились викиди оксидів азоту і оксидів вуглецю [21].

У Харківському національному автомобільному університеті (ХНАДУ) на базі дизеля ЯМЗ-236 створено газовий двигун з іскровим запалюванням. Для цього двигуна розроблено мікропроцесорне керування системами живлення та запалювання [22].

В Луцькому НТУ дизель Д-240 переобладнано для роботи на ПГ. Експериментальні дослідження переобладнаного з дизеля Д-240 газового двигуна підтвердили роботоздатність в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів з максимальною потужністю більшою на 1,98...4,3% та еквівалентною питомою ефективною витратою палива на 20,5... 25,4% вищою, як у дизеля [23].

Тому виникає необхідність оцінки експлуатаційних показників транспортних засобів з газовими двигунами конвертованими дизеля, що виготовляється в країнах СНД, і які експлуатуються в нашій державі.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОБАЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

2.1 Конструктивні особливості колісного трактора МТЗ-80 з газобалонним обладнанням

На колісному тракторі МТЗ-80 встановлено конвертований з дизеля газовий двигун із всім необхідним обладнанням (газоповітряний змішувач, газовий редуктор, переривач-розподільник, відцентровий датчик обмежувача обертів колінчастого вала двигуна та ін.) зображений на рис. 2.5 [24].

Приготування та дозування газоповітряної суміші забезпечувалось серійним газоповітряним змішувачем СГ-250 з виконавчим механізмом обмежувача максимальних обертів. Для рівномірного розподілу газоповітряної суміші по циліндрах двигуна впускний трубопровід виготовлений з центральним розміщенням газоповітряного змішувача [24] і встановлений на двигун.

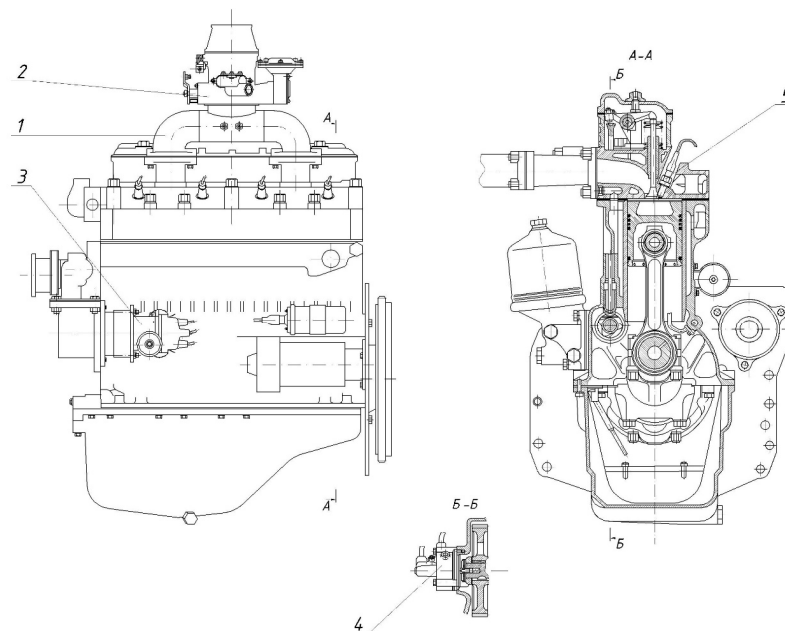


Рисунок 2.5 – Конвертований з дизеля газовий двигун: 1 – впускний трубопровід; 2 – газоповітряний змішувач; 3 – переривач-розподільник запалювання; 4 – відцентровий датчик обмежувача максимальних обертів колінчастого вала; 5 – свічка запалювання

Датчик обмежувача встановлено замість лічильника мотогодин в передній кришці двигуна з приводом від розподільчого вала. При цьому датчик обмежувача, відрегульовано на спрацювання при перевищенні номінальної частоти обертання зміною жорсткості пружини клапана.

Переобладнання дизеля в газовий двигун виконувалося за схемою, зображеною на рис. 2.6.

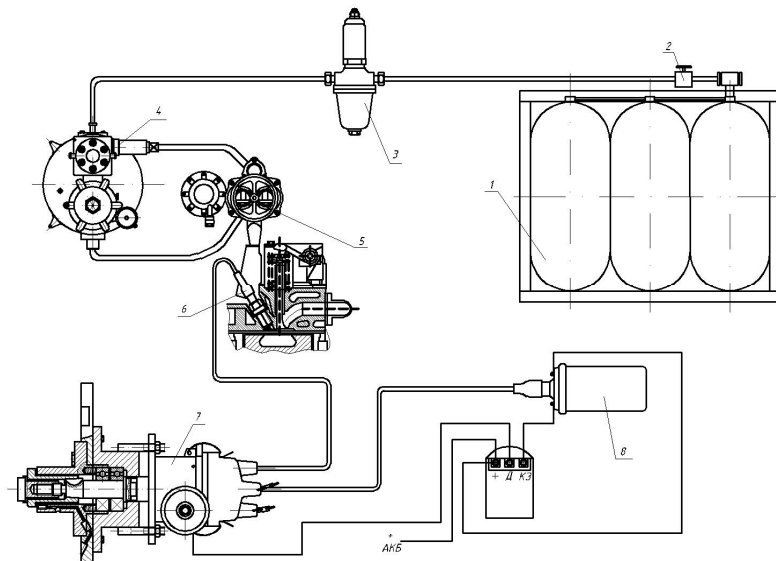


Рисунок 2.6 – Схема систем живлення та запалювання газового двигуна: 1 – касета з газовими балонами; 2 – газовий вентиль; 3 – газовий клапан; 4 – двохступінчастий газовий редуктор; 5 – газовий змішувач; 6 – свічка запалювання; 7 – переривач-розподільник; 8 – привод переривача-розподільника; 9 – котушка запалювання.

Зменшення ступеня стискання газового двигуна забезпечено шляхом встановлення між головкою блоку і блоком циліндрів 3-х прокладок загальною товщиною 4,5 мм (двох штатних металоазбестових і однієї із листового дюралюмінію між ними). Після встановлення прокладок виконано регулювання теплових зазорів в клапанному механізмі – 0,25 мм і 0,40 мм для впускних і випускних клапанів.

На газовий двигун було встановлено безконтактну систему запалювання з датчиком Хола в переривачі-розподільнику, яка встановлюється на бензинових двигунах МемЗ-245. В даній системі енергія іскрового розряду до 50 МДж забезпечує роботу двигуна на збіднених паливоповітряних сумішах. Така система запалювання надійна в роботі, не вимагає регулювань в процесі експлуатації та має невисоку вартість [25...27].

Для встановлення переривача-розподільника та іскрових свічок запалювання були виконані необхідні слюсарні операції. Так іскрові свічки запалювання встановлено на місце форсунок дизеля, шляхом нарізання різьби М12*10 в отворах під розпилувачі форсунок без їх розсвердлювання, а переривач-розподільник – на місце паливного насоса високого тиску в спеціально виготовленому приводі. Переривач-розподільник споряджений відцентровим та вакуумним регуляторами кута випередження запалювання. У відцентровому регуляторі кута випередження запалювання встановлені тягарці визначеної за розрахунком для двигуна Д-240 маси, а також пружини тягарців з розрахунковою жорсткістю. У вакуумному регуляторі встановлена пружина з розрахунковою жорсткістю.

Газобалонний трактор МТЗ-80 з розташованою касетою з газовими балонами показаний на схематичному зображенні (рис. 2.7).

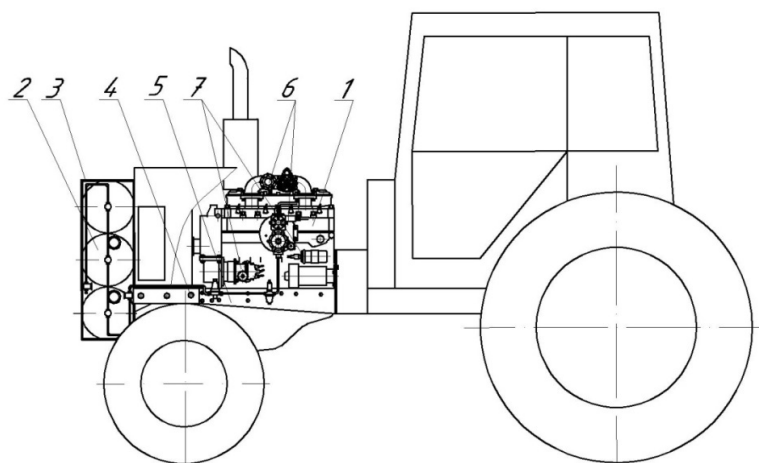


Рисунок 2.7 – Конструктивна схема газобалонного трактора: 1 – газований двигун; 2 – газіві балони; 3 – касета; 4 – болти; 5 – рама; 6 – комплект газової паливної апаратури; 7 – комплект системи запалювання

Касета з газовими балонами кріпиться болтами до рами в передній частині колісного трактора перед радіатором. Таке компонування не змінює центр ваги і не збільшує габаритні розміри по висоті трактора.

Газобалонний трактор містить дизель, переобладнаний у газовий двигун 1 шляхом зниження ступеня стискання, газові балони 2, встановлені в касеті 3, прикріплені болтами 4 до рами 5 в передній частині трактора перед радіатором. Розміщення балонів 2 в передній частині трактора суттєво знижує центр ваги у порівнянні з їх розміщенням на даху кабіни трактора, що підвищує стійкість трактора в цілому. В підкапотному просторі трактора розміщується комплект газової паливної апаратури 6 та комплект системи запалювання 7. На впускному колекторі встановлено газоповітряний змішувач з виконавчим механізмом обмежувача максимальних обертів та інше газове обладнання. Датчик обмежувача максимальних обертів встановлений на передній кришці двигуна і приводиться в дію від розподільного вала. Впускний колектор ізолювано від головки циліндрів за допомогою теплоізолюючих шайб, щоб уникнути зменшення наповнення циліндрів свіжим зарядом від його нагріву. На двигуні 1 встановлюється пристрій для відкриття дросельних заслінок газоповітряного змішувача. Оскільки газоповітряна суміш має гіршу займистість у порівнянні з бензоповітряною сумішшю, то для забезпечення безперебійної роботи на двигуні 1 встановлено серійне безконтактне електронне запалювання бензинового двигуна легкового автомобіля. Переривач-розподільник системи запалювання 7 встановлений в спеціально виготовленому приводі. Свічки запалювання встановлені в отворах для форсунок, для чого різьбу нарізають в отворах головки циліндрів під носок розпилювача без його розсвердлювання. Котушка запалювання та транзисторний комутатор закріплені в підкапотному просторі на спеціально виготовлених кронштейнах.

Газобалонний трактор працює наступним чином. Наповнені газові балони 2 встановлені в касету 3, після чого вона болтами 4 кріпиться до рами 5 в передній частині трактора перед радіатором. З газу, який зберігається в балонах 2, газова паливна апаратура 6 забезпечує утворення газоповітряної суміші та її подачу в

циліндри двигуна 1. Іскрова система запалювання 7 в потрібний момент часу згідно з порядком роботи двигуна 1 запалює газоповітряну суміш. Після використання газу, який знаходився в балонах 2, можна здійснити заміну касети 3. Для цього відкручуються болти 4, якими касета 3 кріпиться до рами 5 трактора, касета з використаними балонами знімається і замість неї встановлюється касета з балонами 2, заповненими газом.

За рахунок конструктивного виконання висота трактора не збільшується, не погіршується його стійкість та розширюються можливості заправки газом.

2.2 Рекомендації щодо переобладнання дизелів колісних тракторів у газові двигуни з іскровим запалюванням

Технологія дозволяє отримати прийнятні показники двигуна за помірних затрат на переобладнання. За розробленою технологією можна переобладнати будь-який дизель в газовий двигун, незалежно від кількості та розміщення його циліндрів та інших конструктивних особливостей, від того, турбодизель це чи атмосферний дизель. Таке переобладнання можна здійснювати в умовах невеликих майстерень.

З виконаного аналізу термічного ККД і середнього тиску циклу Отто зроблено висновок, що в даному циклі доцільно здійснювати робочий процес реального двигуна із ступенями стиску, що не перевищують $\varepsilon = 12$ [28].

Переобладнання включає в себе демонтаж дизельної системи живлення, зменшення ступеня стиску та забезпечення нормального протікання робочого процесу за циклом Отто, тобто встановлення іскрової системи запалювання та додаткового газового обладнання для зберігання і подачі газу в циліндри двигуна, заміна привода керування регулятором частоти обертання дизеля на привод керування дросельними заслінками газоповітряного змішувача, перевірка газової системи живлення на герметичність, виконання необхідних регулювань систем живлення та запалювання, які включають регулювання складу газоповітряної

суміші та виставлення оптимального установочного кута випередження запалювання, випробування техніки під час роботи двигуна на малих обертах холостого ходу та пробігом. При цьому необхідно виконувати вимоги нині діючих нормативно-технічних документів, що регламентують переобладнання мобільної техніки для роботи на стисненому природному газі. Наступна експлуатація технічного засобу з газовим двигуном, переобладнаним з дизеля, здійснюється відповідно до рекомендацій інструкції з експлуатації.

Для переобладнання дизелів у газові двигуни застосовується серійне газове обладнання газобалонних автомобілів: газоповітряні змішувачі, газові редуктори низького тиску, газові редуктори високого тиску, електромагнітні клапани, газові балони з вентилями та трубопроводами. Характеристики газоповітряного змішувача і газового редуктора низького тиску (перш за все, діаметри дозувальних отворів дозуючо-економайзерного пристрою) мають бути узгоджені з витратними характеристиками двигуна.

Газовий двигун може обладнуватись як звичайною електронною системою запалювання з високовольтним розподільником, так і мікропроцесорною системою запалювання з індивідуальними котушками для кожного циліндра. Кращим є другий варіант, оскільки відпадає необхідність встановлення розподільника запалювання. Для кожної марки двигуна необхідно визначати і встановлювати оптимальний установочний кут випередження запалювання.

Технологія охоплює переобладнання як нових дизелів, так і тих, які були в експлуатації. Стосовно нових дизелів, то для здешевлення їх переобладнання пропонується їх поставка на автоскладальне виробництво без дизельної паливної апаратури і встановлення безпосередньо на заводі газової апаратури і системи запалювання. Що стосується дизелів, які були в експлуатації, то особливо виправданою є конвертація в газові двигуни дизелів у разі необхідності ремонту їх циліндро-поршневої групи або паливної апаратури. В цьому випадку витрати на переобладнання дизеля частково компенсуються за рахунок засобів, які все одно необхідно затрачувати на ремонт.

Проведені дослідження виявили деякі особливості протікання робочого процесу газового двигуна. Зокрема те, що газоповітряна суміш має гіршу займистість порівняно з бензоповітряною сумішшю. Тому для компенсації більш низької займистості газоповітряної суміші потрібно застосовувати системи запалення високої енергії і досконаліші свічки запалення.

Оскільки переобладнання виконується без зміни конструкції двигуна, то на таке переобладнання не потрібно отримувати дозвіл заводу-виробника.

Переведення навіть частини сільськогосподарської техніки на живлення природним газом дасть значний економічний ефект в масштабах держави. При переході на газ затрати на паливо-мастильні матеріали зменшуються приблизно у два рази. Зменшуються затрати на поточний ремонт, оскільки відпадає необхідність міняти розпилювачі форсунок та плунжерні пари насоса високого тиску, які досить часто виходять з ладу. Не менший економічний ефект буде і від переобладнання автомобіля з дизелем у газобалонний. Крім того має місце також екологічний ефект від зменшення забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами двигунів [29].

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТІЙКОСТІ ТА ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА МТЗ-80 З ГАЗОБАЛОННИМ ОБЛАДНАННЯМ

3.1. Визначення розміщення центрів ваги колісного трактора МТЗ-80 та газобалонного обладнання

Щоб визначити статичні кути стійкості колісного трактора МТЗ-80 необхідно знати координати його центра ваги. Координати центра ваги розраховуються згідно з ГОСТ 30750-2001 [30].

Згідно ГОСТ 30750-2001 центр ваги визначається методом вимірювання реакції опор при встановленні колісного трактора в трьох положеннях: горизонтальному, вертикальному похилому при піднятій задній частині та горизонтальному поперечному.

Схеми для визначення координат центра ваги колісного трактора МТЗ-80 показані на рис. 3.1.

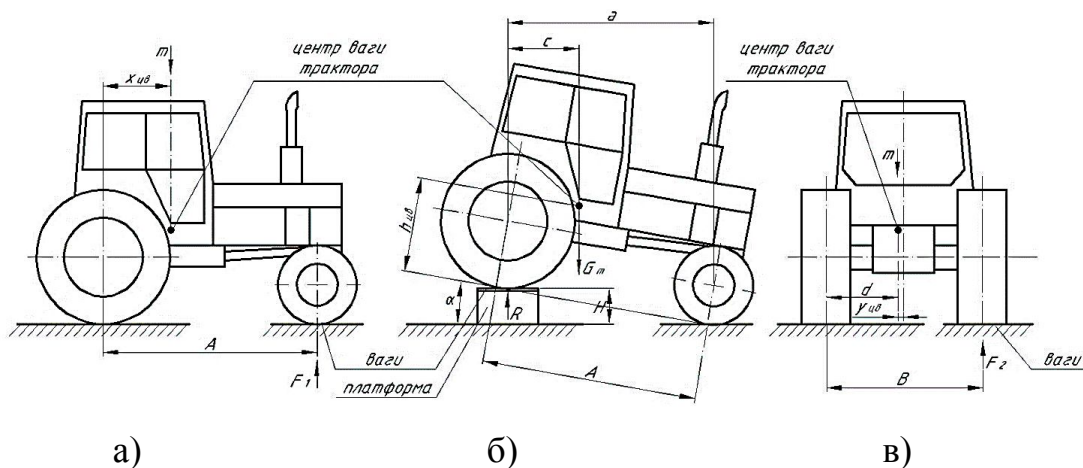


Рисунок 3.1 – Схеми для визначення координат центра ваги колісного трактора МТЗ-80: а – горизонтальної поздовжньої координати; б – вертикальної координати при піднятій задній частині трактора; в – горизонтальної поперечної координати

Горизонтальна поздовжня координата (рис. 1, а) визначається по формулі:

$$X_{цв} = \frac{A \cdot F_1}{m}, \quad (3.1)$$

де A – база колісного трактора, мм;

F_1 – навантаження на передню вісь, (1395 кг);

m – маса трактора, кг.

Частина ваги F_1 колісного трактора, яка приходить на передню вісь визначається за допомогою підкладних автомобільних ваг.

Вертикальна координата (рис. 1, б) при піднятій задній частині колісного трактора визначається по формулі:

$$h_{цв} = \left(\frac{G_m - R}{G_m} \cdot A - x_{цв} \right) \cdot ctg \alpha, \quad (3.2)$$

де G_m – вага трактора, (39235 Н);

R – реакція на задні колеса трактора зі сторони платформи, (17880 Н);

α – кут встановлення колісного трактора на платформі, (25^0).

Реакція R на задні колеса трактора зі сторони платформи визначається за допомогою за допомогою підкладних автомобільних ваг.

Для визначення даної величини задні колеса трактора піднімалися на металеву платформу висотою 76 см. Кут встановлення колісного трактора на платформі становив 25^0 .

Для визначення горизонтальної поперечної координати необхідно визначити навантаження F_2 , яке створюється правим заднім колесом колісного трактора та розрахувати відстань положення центра ваги з використанням колії трактора:

$$d = \frac{B \cdot F_2}{m}, \quad (3.3)$$

де B – колія колісного трактора, мм;

Горизонтальна поперечна координата (Рис. 1, в) визначається по формулі:

$$y_{цв} = \frac{B}{2} - d, \quad (3.4)$$

В результаті вимірювань отримані наступні значення координат центра ваги колісного трактора МТЗ-80:

- горизонтальна поздовжня координата центра ваги $x_{цв} = 855$ мм;
- вертикальна координата $h_{цв} = 1025$ мм;
- горизонтальна поперечна координата $y_{цв} = 7$ мм.

Координати центра ваги касети з газовими балонами визначаються за формулами:

- координата центра ваги касети з газовими балонами по осі X:

$$x_{цв} = \frac{\sum(G_{икб} \cdot x_{икб})}{\sum G_{икб}}, \quad (3.5)$$

де $G_{икб}$ – вага і-го елемента, касети з газовими балонами, Н;

$x_{икб}$ – координата центра ваги і-го елемента по осі X.

- координата центра ваги касети з газовими балонами по осі Y:

$$y_{цв} = \frac{\sum(G_{икб} \cdot y_{икб})}{\sum G_{икб}}, \quad (3.6)$$

де $y_{икб}$ – координата центра ваги і-го елемента по осі Y.

- координата центра ваги касети з газовими балонами по осі Z:

$$z_{цв} = \frac{\sum(G_{икб} \cdot z_{икб})}{\sum G_{икб}}, \quad (3.7)$$

де $z_{икб}$ – координата центра ваги і-го елемента по осі Z.

Схема визначення координат центра ваги касети з газовими балонами показана на рис. 3.2.

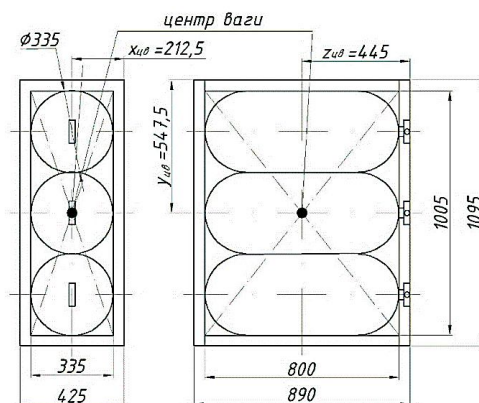


Рисунок 3.2 – Координати центра ваги касети з газовими балонами

Таким чином, були визначені координати центрів ваги колісного трактора МТЗ-80 з газобалонним обладнанням та самого газобалонного обладнання.

3.2. Оцінка граничних статичних кутів стійкості колісного трактора МТЗ-80 з газобалонним обладнанням

Встановлення касети з газовими балонами в передній частині (рис. 3.3), яка має суттєву масу та габаритні розміри, може суттєво впливати на параметри стійкості. При цьому таке компонування не збільшує центр ваги колісного трактора, касета з газовими балонами не погіршує оглядовість, не збільшуються габарити трактора по висоті, що дозволить безперешкодний заїзд в ворота ферм, теплиць, складів та інших сільськогосподарських споруд. Крім того забезпечується додаткове навантаження передньої осі трактора, що в свою чергу призводить зменшення буксування, покращення поздовжньої стійкості та керованості.

Для оцінювання граничних кутів стійкості колісного трактора МТЗ-80 при його роботі з ГБО, яке розташовується в передній частині, необхідно розглянути його рівновагу на підйомі, на ухилі та на поперечному ухилі.

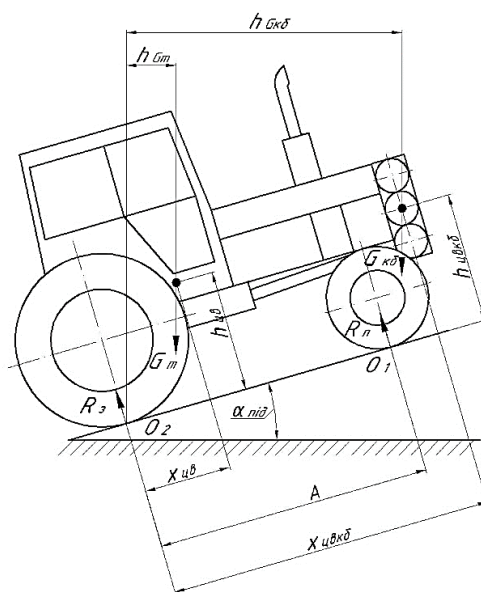


Рисунок 3.3 – Схема для визначення граничного статичного кута підйому колісного трактора МТЗ-80 з газовими балонами

На рис. 3.1 показана схема для визначення граничного статичного кута підйому колісного трактора МТЗ-80. Перекидання відбувається, коли передні колеса колісного трактора повністю розвантажуються і нормальна реакція $R_3=0$.

На колісний трактор діють сили ваги самого трактора G_m та $G_{кб}$ сила ваги касети з газовими балонами.

Рівновага колісного трактора, який стоїть на підйомі, відносно осі перекидання O_2 :

$$\sum M_{O_2} \cdot (F_i) = 0; G_T \cdot h_{G_T} + G_{кб} \cdot h_{G_{кб}} - R_n \cdot L = 0, \quad (3.8)$$

де G_m – сила тяжіння колісного трактора, Н;

h_{G_T} – плече прикладеної сили ваги колісного трактора G_m , мм.

$G_{кб}$ – сила тяжіння касети з газовими балонами, Н;

$$h_{G_T} = x_{цв} \cos \alpha_{під} - h_{цв} \sin \alpha_{під}, \quad (3.9)$$

де $x_{цв}$ – горизонтальна поздовжня координата центра ваги колісного трактора (855 мм);

$h_{цв}$ – вертикальна координата центра ваги колісного трактора (1025 мм) (п.п. 2.3.);

$h_{G_{кб}}$ – плече прикладання сили ваги касети $G_{кб}$:

$$h_{G_{кб}} = x_{цвкб} \cos \alpha_{під} - h_{цвкб} \sin \alpha_{під}, \quad (3.10)$$

де $x_{цвкб}$ – горизонтальна координата центра ваги касети з газовими балонами, (3010 мм);

$h_{цвкб}$ – вертикальна координата центра ваги касети з газовими балонами, (1155 мм).

Коли починається процес перекидання колісного трактора на підйомі реакція зі сторони опорної поверхні на передню вісь R_n рівна нулю.

З врахуванням (3.9), (3.10) граничний статичний кут підйому визначається за формулою:

$$\alpha_{під} = \arctg \cdot \frac{G_T \cdot x_{цв} + G_{кб} \cdot x_{цвкб}}{G_T \cdot h_{цв} + G_{кб} \cdot h_{цвкб}} \quad (3.11)$$

На рис. 3.4 показана схема для визначення граничного статичного кута схилу колісного трактора МТЗ-80.

Рівняння рівноваги відносно осі перекидання R_n :

$$\sum M_{O_1} \cdot (F_i) = 0; G_T \cdot h_{G_T} + G_{кб} \cdot h_{G_{кб}} + R_s \cdot L = 0. \quad (3.12)$$

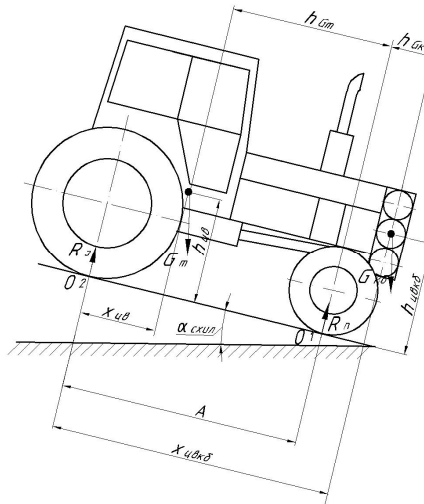


Рисунок 3.4 – Схема для визначення граничного статичного кута схилю колісного трактора МТЗ-80 з газовими балонами

Вираз для визначення плеча прикладеної сили ваги колісного трактора G_m :

$$h_{G_T} = (L - x_{цв}) \cdot \cos \alpha_{схил} - h_{цв} \sin \alpha_{схил} \quad (3.13)$$

Плече прикладання сили ваги касети $G_{кб}$:

$$h_{G_{кб}} = (x_{цвкб} - A) \cdot \cos \alpha_{схил} - h_{цвкб} \sin \alpha_{схил} \quad (3.14)$$

де A – база колісного трактора, мм;

Коли починається процес перекидання колісного трактора на схилі реакція зі сторони опорної поверхні на передню вісь R_3 рівна нулю.

З врахуванням (3.13), (3.14) граничний статичний кут схилю визначається за формулою:

$$\alpha_{схил} = \arctg \cdot \frac{(G_T + G_{кб}) \cdot A - G_T \cdot x_{цв} - G_{кб} \cdot x_{цвкб}}{G_T \cdot h_{цв} + G_{кб} \cdot h_{цвкб}}, \quad (3.15)$$

На рис. 3.5 показана схема для визначення граничного статичного поперечного кута схилю колісного трактора МТЗ-80.

Рівновага колісного трактора, який стоїть на поперечному схилі, відносно осі перекидання R_n :

$$\sum M_{R_n} \cdot (F_i) = 0; R_n \cdot B - G_T \cdot h_{G_T} - G_{кб} \cdot h_{G_{кб}} = 0, \quad (3.16)$$

де R_n – реакція зі сторони опорної поверхні, яка приходить на ліве колесо, Н;

h_{G_T} – плече прикладеної сили ваги колісного трактора G_m на поперечному схилі, мм;

$h_{G_{KB}}$ – плече прикладеної сили ваги касети з газовими балонами на поперечному схилі, мм.

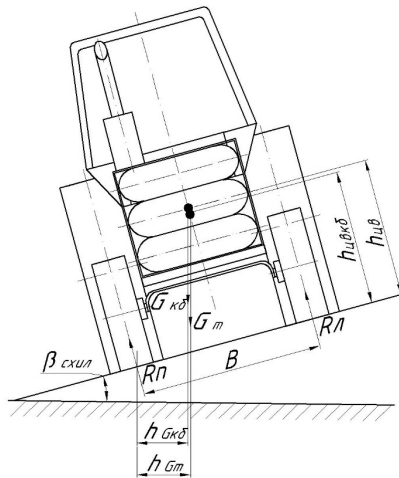


Рисунок 3.5 – Схема для визначення граничного статичного поперечного кута схилу колісного трактора МТЗ-80 з газовими балонами

Плечі прикладених сил:

$$h_{G_T} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{схил}} - h_{\text{цв}} \sin \beta_{\text{схил}}, \quad (3.17)$$

де B – колія колісного трактора, (2700 мм).

$$h_{G_{KB}} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{схил}} - h_{\text{цвкб}} \sin \beta_{\text{схил}}, \quad (3.18)$$

Коли починається процес перекидання колісного трактора на поперечному схилі реакція зі сторони опорної поверхні на передню вісь R_l рівна нулю.

З врахуванням (3.17), (3.18) граничний статичний поперечний кут схилу визначається за формулою:

$$\beta_{\text{схил}} = \arctg \cdot \frac{0,5 \cdot B \cdot (G_T + G_{KB})}{G_T \cdot h_{\text{цв}} + G_{KB} \cdot h_{\text{цвкб}}}, \quad (3.19)$$

Вирази (3.11), (3.15), (3.19) дозволяють визначити граничні статичні кути стійкості колісного трактора МТЗ-80 при роботі на ПГ.

Також за допомогою цих виразів визначались граничні статичні кути стійкості колісного трактора без касети з газовими балонами. Для цього необхідно прийняти масу касети з балонами рівною нулю. Результати розрахунків граничних статичних кутів стійкості колісного трактора показані в таблиці 3.1 та на рис. 3.5.

З рис. 3.6, видно, що на поздовжньому підйомі в колісного трактора МТЗ-80 з встановленим газобалонним обладнанням збільшується граничний статичний кут підйому на 14 % з 40° – базовий колісний трактор до $46,5^{\circ}$ в газобалонного. На поздовжньому схилі граничний статичний кут схилу зменшується в порівнянні з базовим на 5,2%, з $57,5^{\circ}$ до $54,4^{\circ}$. На поперечному схилі в колісного трактора з газобалонним обладнанням граничний статичний поперечний кут схилу також зменшується на 2 %, з $35,8^{\circ}$ до $35,1^{\circ}$.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків граничних статичних кутів стійкості колісного трактора

Параметр стійкості	Базовий колісний трактор	Колісний трактор з ГБО
Граничний статичний кут підйому	40°	$46,5^{\circ}$
Граничний статичний кут схилу	$57,5^{\circ}$	$54,4^{\circ}$
Граничний статичний поперечний кут схилу	$35,8^{\circ}$	$35,1^{\circ}$

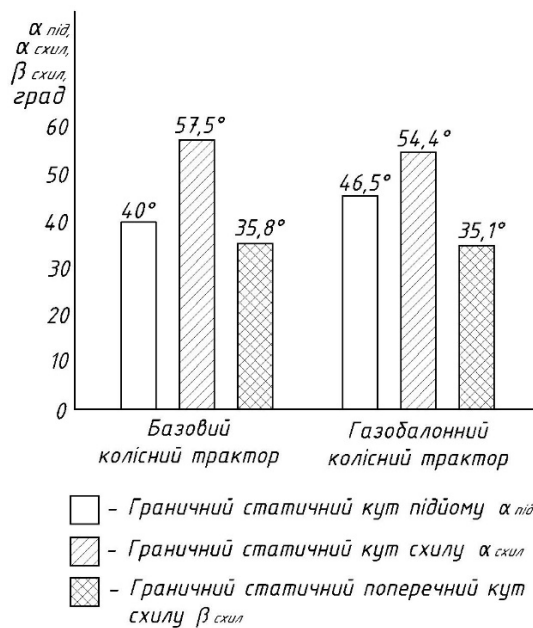


Рисунок 3.6 – Результати розрахунків параметрів стійкості колісного трактора МТЗ-80

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано експлуатаційні показники технологічних транспортних засобів та встановлено що, при переобладнанні техніки для роботи на ПГ, деякі з експлуатаційних показників можуть змінюватись. ПГ є одним з найбільш перспективних моторних палив з хорошими експлуатаційними та екологічними показниками. Одним із способів ефективного використання ПГ в технологічних транспортних засобах є переобладнання дизелів для роботи на газовому паливі.

2. Встановлено, що колісний трактор МТЗ-80 є одним з найбільш універсальних технологічних транспортних засобів, який може використовуватись в сільському, комунальному та інших господарствах. Визначено найбільш доцільну конструктивну схему колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном з усім необхідним обладнанням.

3. Розраховані граничні статичні кути стійкості колісного трактора МТЗ-80 з газовим двигуном відповідають технічним вимогам до трактора МТЗ-80, які мають бути не менше 35° . Так граничний статичний кут підйому збільшується на 14 % з 40° – базовий колісний трактор до $46,5^{\circ}$. Граничний статичний кут схилу зменшується в порівнянні з базовим на 5,2 % з $57,5^{\circ}$ до $54,4^{\circ}$. Граничний статичний кут схилу також зменшується на 2 %, з $35,8^{\circ}$ до $35,1^{\circ}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічний транспортний засіб [Електронний ресурс]: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/TM022439.html
2. Литвинов А.С. Теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.
3. Морев А.И. Эксплуатация и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей / А.И. Морев, В.И. Ерохов. – М.: Транспорт, 1988. – 184 с.
4. Національна безпека та оборона. Український центр економічних та політичних досліджень ім. О. Разумкова. – 2009. – №6. – С. 18–22.
5. Матейчик В.П. Природний газ як заміник моторних палив нафтового походження / В.П. Матейчик, Р.В. Сидоренко, В.В. Яновський // Матеріали 5-ї міжнародної науково-технічної конференції. “Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы”. – Севастополь: СевНТУ. – 2002. – С. 193–197.
6. Яновський В.В. Покращення паливної економічності та екологічних показників конвертованих газових двигунів дорожніх транспортних засобів. Дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / В.В. Яновський. – Київ, 2004. – 198 с.
7. Сидоренко Р.В. Покращення паливної економічності і зменшення токсичності автомобілів з двигунами, переведеними з бензину на газ. Дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Р.В. Сидоренко. – Київ, 2004. – 261 с.
8. Абрамчук Ф. И. Опыт конвертации дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием / Ф. И. Абрамчук, А. М. Левтеров // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – № 21. – С. 86–92.
9. Захарчук В.І. Дослідження можливості конвертації дизеля в газовий двигун / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, І.С. Козачук, В.П. Матейчик // Наукові нотатки: міжвузівський збірник №13. – Луцьк: ЛДТУ, 2003. – С. 125–129.
10. Григорьев Е.Г. Газобаллонные автомобили / Е.Г. Григорьев, Б.Д. Колубаев, В.И. Ерохов и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 216 с.

11. Mercedes-Benz показал газовой новинку. Журнал Автоцентр. [Электронный ресурс]: <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/novinka-kommercheskie/mercedes-benz-pokazal-gazovuyu-novinku-45662.html>.
12. Газовые двигатели // Журнал «Автомастерня». – 2006. – № 12. – С. 30
13. Газовый автобус MAN Lion`s City A21 CNG: чистый воздух для больших городов / С. Грищенко [Электронный ресурс]: <https://www.abw.by/news/150080>.
14. Новый газовый автобус Volvo / В. Чехута [Электронный ресурс]: <https://www.abw.by/news/131842>.
15. Мордовцев Н. Полный газ / Н. Мордовцев // Украина – За рулем. – 2006. – №2. – С. 87–88.
16. Bus&Coach Buyer/ Gas Bus Enviro 400. [Электронный ресурс]: <http://www.busandcoachbuyer.com>.
17. Nylund N.O. Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / N.O Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. – Brussel: IANGV, – 2002. – 105 p.
18. Луканин В.Н. Сравнительный анализ способов конвертации жидкотопливных двигателей в двигатели, питаемые природным газом / В.Н. Луканин, А.С. Хачиян, В.Е. Кузнецов, В.М. Федоров // Экология двигателей и автомобиля: сборник научных трудов. – М.: Изд. НАМИ, 2001. – С. 97–103.
19. Кутенёв В.Ф. Разработка газового двигателя на базе дизеля ЯМЗ – 236НЕ: разработки отдела энергосберегающих технологий и альтернативных топлив [Электронный ресурс] / В.Ф. Кутенёв, В.А. Лукшо // Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт – 2007. – Режим доступа к источнику: <http://www.nami.ru/subdivisions/engines/energy-efficient-technologies/development/>.
20. Савельев Г.С. Технология конвертирования дизеля Д-240 в газойсковой двигатель / Г.С. Савельев // Тракторы и с-х машины, №10, 2008. – С.19-24.

21. Бганцев В. Н. Газовый двигатель на базе четырёхтактного дизеля общего назначения / В. Н. Бганцев, А. М. Левтеров, В. П. Мараховский // Мир техники и технологий. – 2003. – №10. – С. 74–75.

22. Богомолов В.А. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6Ч13/14 с искровым зажиганием / В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.И. Воронков, С.В. Салдаев, А.Н. Кабанов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков: ХНАДУ, 2007. – № 37. – С. 43–47.

23. Захарчук В.І. Розрахунково-експериментальні дослідження газового двигуна, переобладнаного з дизеля / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, І.С. Козачук // Автомобільний транспорт – Харків: ХНАДУ, 2005. Вип. 16. – С. 276–278.

24. Пат. 37674 UA. МПК(2006) F02B 11/00. Конвертований з дизеля газовий двигун внутрішнього згорання з іскровим запалюванням / В.І. Захарчук, В.П. Матейчик, О.В. Захарчук (Україна). – Опубл. 10.12.2008. – Бюл. №9.

25. Захарчук В.І. Можливість переобладнання дизелів сільськогосподарської техніки в газові двигуни / В.І. Захарчук, І.С. Козачук, О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: збірник наукових статей. – Випуск 18. – Луцьк, 2009. – С. 127–132.

26. Пат. 40172 UA. МПК(2009) F02B 11/00. Система запалювання конвертованого з дизеля газового двигуна внутрішнього згорання / В.І. Захарчук, О.В. Захарчук, Л.М. Середюк, В.О. Сітовський (Україна). – Опубл. 25.03.2009, Бюл. №6.

27. Захарчук В.И. Переоборудование дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием / В.И. Захарчук, И.С. Козачук, О.В. Захарчук // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – №4. – С. 50–53.

28. Захарчук В.І. Екологічні показники дизеля при роботі на альтернативних паливах / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук, О.В. Захарчук // Екологія плюс. №1. – 2011. – С. 16–19.

29. Захарчук О.В. Покращення експлуатаційних показників колісного

трактора з переобладнанням з дизеля газовим двигуном: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.20 / Захарчук Олег Вікторович. – К., 2013. – 199 с.

30. Тракторы сельськохозяйственные. Определение положения центра тяжести: ГОСТ 30750-2001 (ИСО 789-6-82). Введ. 01.11.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с. – (Межгосударственный стандарт).