

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Коновалов Іван Іванович

УДК 621.43

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ
ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Коновалов І.І.

Керівник роботи

Забродський П.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Коновалов Іван Іванович. Удосконалення системи живлення газодизельних двигунів сільськогосподарських тракторів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі розроблено систему живлення газодизельного двигуна з комбінованим сумішоутворенням з мінімальними конструктивними змінами. Для цього паливний насос високого тиску укомплектований механізмом мінімізації запалювальної суміші дизельного палива, а система живлення комплектом обладнання, що включає балони для компримованого природного газу, заправну, розподільну та контрольну апаратуру.

Зміни енергетичних показників роботи газодизельного двигуна на рідкому паливі та газодизельному режимі показали, що потужність падає не більше ніж на 10...12 % порівняно з рідким паливом. Вищий коефіцієнт надлишку повітря під час роботи в газодизелі призводить до деякого зниження теплотворності робочої суміші та зменшення швидкості згоряння, цим підтверджується зниження до 10% номінальної потужності двигуна.

Розроблена в роботі конструктивна схема розміщення комплекту балонів на тракторі дозволяє рекомендувати встановлення касети з 5 одиниць розміром 1500x1350 мм модернізованих полегшених на 31 кг метанових балонів з розміщенням її над кабіною трактора, без погіршення огляду механізатора.

Ключові слова: газодизельний двигун, система живлення, балон, паливо, паливний насос високого тиску

ANNOTATION

Konovalov Ivan Ivanovich. Improvement of the power supply system for gas-diesel engines of agricultural tractors. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, a power supply system for a gas-diesel engine with a combined mixture was developed with minimal design changes. For this purpose, the high-pressure fuel pump is equipped with a mechanism for minimising the ignition mixture of diesel fuel, and the power supply system is equipped with a set of equipment, including compressed natural gas cylinders, filling, distribution and control equipment.

Changes in the energy performance of a gas-diesel engine running on liquid fuel and gas-diesel mode showed that the power drops by no more than 10...12 % compared to liquid fuel. A higher excess air ratio during operation in gas-diesel leads to a slight decrease in the calorific value of the working mixture and a decrease in the combustion speed, which is confirmed by a decrease of up to 10 % of the rated engine power.

The constructive scheme for placing a set of cylinders on a tractor developed in this work allows us to recommend the installation of a cassette of 5 units of 1500×1350 mm in size of modernised methane cylinders lightened by 31 kg with its placement above the tractor cab, without impairing the operator's view.

Keywords: gas-diesel engine, power supply system, cylinder, fuel, high-pressure fuel pump

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СПОСОБИ КОНВЕРТАЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В ГАЗОДИЗЕЛЬ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПОДАЧІ ЗАПАЛЮВАЛЬНОЇ СУМІШІ В ЦИЛІНДРИ ДВИГУНА ПРИ КОНВЕРТУВАННІ В ГАЗОДИЗЕЛЬ.....	13
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ КОМПЛЕКТУ БАЛОНІВ НА ТРАКТОРІ З ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ.....	23
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Постійне збільшення потреби у дизельному паливі та суттєве його подорожчання в останні роки призводять до необхідності переведення тракторів та створених на їх базі будівельних, дорожніх та комунальних машин, самохідних сільськогосподарських машин, а також інших мобільних та стаціонарних енергетичних установок на альтернативні види палива, насамперед на стислий та скраплений природний газ.

Використання природного компримованого газу як моторне паливо дозволить покращити екологічну обстановку в місцях експлуатації тракторів. У загальній масі шкідливих речовин, що забруднюють навколишнє середовище частка викидів дизельних тракторів відносно невелика і зазвичай не перевищує 4% сумарних викидів всіх антропогенних джерел забруднення. Проте викиди тракторів досить часто викликають інтенсивні локальні забруднення, що становлять значну небезпеку як для трактористів, але й для людей і тварин, що знаходяться поблизу, а також для рослин і ґрунту.

На сучасному етапі технічного прогресу у сільськогосподарському виробництві енергетичне забезпечення приросту продукції не може бути досягнуто з допомогою моторних палив, одержуваних з нафти.

Альтернативне вирішення проблеми можливе за рахунок використання газу як палива для тракторів та самохідних сільськогосподарських машин.

Доцільність застосування газу як паливо для сільськогосподарських тракторів визначається ще й тим, що є високоякісним паливом. Октанове число газу становить 90...110, що дозволяє підвищити ступінь стиснення на дизельному двигуні, і в результаті забезпечить покращення показників його роботи.

До переваг газу як моторного палива перед дизельним можна віднести найкраще сумішоутворення, відсутність рідких фракцій у суміші, що надходять

у циліндр, та зниження зносу двигуна. Велике значення має також менший вміст шкідливих для людини хімічних речовин складових у продуктах згоряння.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи: підвищення ефективності використання сільськогосподарських тракторів шляхом удосконалення системи живлення газодизельного двигуна

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити основні **завдання:**

- розробити паливну систему газодизельного двигуна з комбінованим сумішоутворенням;
- обґрунтувати склад комбінованої горючої суміші для газодизельного двигуна сільськогосподарського трактора.

Об'єкт дослідження: дизельний двигун сільськогосподарського трактора під час роботи у газодизельному режимі.

Предмет дослідження: закономірності зміни характеристик двигуна сільськогосподарського трактора під час газозаміщення дизельного палива.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Забродський П. М., **Коновалов І. І.** Розробка конструктивної схеми розміщення комплексу балонів на тракторі з газодизельним двигуном. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 58-60

2. Забродський П.М., **Коновалов І. І.** Обґрунтування конструктивних параметрів балонів системи живлення газодизельних двигунів. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”.* 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

Практичне значення проєкту полягає у розробці пристрою подачі горючої суміші.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, містить 8 рисунків та 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1

СПОСОБИ КОНВЕРТАЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В ГАЗОДИЗЕЛЬ

Доцільність використання газу як моторне паливо для двигунів внутрішнього згорання зрозуміли понад 150 років тому. До речі, перші чотиритактні двигуни, винайдені німецьким фабрикантом Отто Ленуаром та австрійським годинником майстром Ройтманом, працювали на світильному гасі, і потім у них почали застосовувати бензин.

На відміну від природного метану зріджений пропан має здатність під тиском у декілька атмосфер при звичайній температурі переходити в рідкий стан, зменшуючись в об'ємі в 250 разів. Це робить його транспортабельним нарівні із традиційними видами моторного палива. На газобалонних тракторах та автомобілях газ знаходиться у легких тонкостінних балонах, розрахованих на робочий тиск до 16 атмосфер.

Перші газобалонні трактори у нашій країні були створені у тридцятих роках. Після Другої світової війни переведенням дизеля на скраплений газ займалися вчені Всесоюзного науково-дослідного інституту механізації сільського господарства. За базову модель було прийнято широко поширений у роки трактор ДТ-54.

Газовий двигун мав такі відмінності від серійного дизеля:

- головка циліндрів мала нерозділену камеру згорання ванноподібного типу;
- діаметр впускного клапана був збільшений до 60 мм, а випускного;
- до 52 мм (у дизеля діаметр обох клапанів 47,5 мм);
- впускний колектор був змінений і мав фланець для кріплення змішувача;
- чавунні поршні з плоским днищем;
- замість лічильника мотогодин був встановлений однорежимний регулятор частоти обертання колінчастого валу;
- запалювання від магнето, встановленого на місці паливного насоса, та "холодними" свічками.

Система живлення газом (рис. 1.1) складалася з двох балонів, розташованих вертикально позаду кабіни, магістрального вентиля, випарника газового редуктора та змішувача. Усі вузли, окрім змішувача, були запозичені від газобалонного автомобіля ГАЗ-51Б.

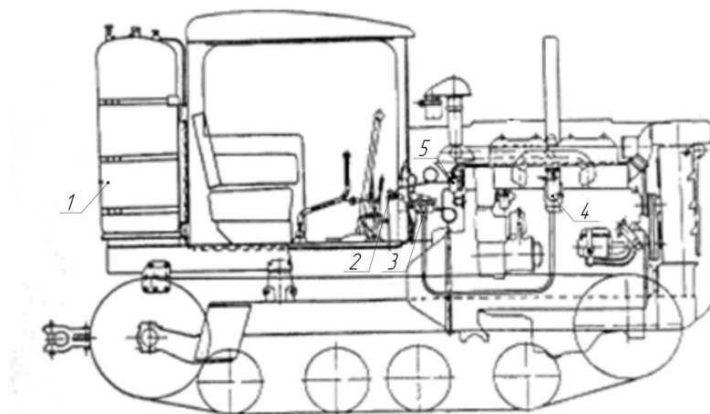


Рис. 1.1. Схема розташування приладів системи живлення на газобалонному тракторі: 1 - газовий балон; 2 – магістральний вентиль; 3 – редуктор; 4 – змішувач; 5 - випарник

Газодизельний двигун може виконувати роботу як на стиснутому, так і на зрідженому газі. В даному випадку сумішоутворення може бути змішаним (зовнішнє по газу і внутрішнє по запальному дизельному паливу) або чисто внутрішнім, при якому для автотракторних дизелів застосуємо лише скраплений нафтовий газ (ГСН).

Заміщення ДП газом може досягати 80% і більше, якщо ДСП у суміші з ДП подається паливним насосом високого тиску (ПНВТ). Складність реалізації такого методу очевидна, зокрема через необхідність попередньої підготовки газопаливної суміші. Через підвищену стисливість суміші ГСН з ДП може відбутися зниження продуктивності паливоподачі і, отже, втрата потужності двигуна, також зріджений вуглеводневий газ дорожчий і дефіцитніший.

Схема системи паливоподачі з клапаном регулювання початкового тиску представлена рис. 1.2.

Газовий однопаливний трактор має двигун з іскровим запалюванням, а циліндри надходить газоповітряна суміш; у газодизельному двопаливному при

роботі в газодизельному режимі газоповітряна суміш у циліндрах газодизеля займається впорскуванням запальною дозою дизельного палива, а в дизельному режимі він працює за дизельним циклом.

Потужні показники газодизеля залишаються, як правило, такими ж як у базового дизеля. Для газового двигуна їх доводиться знижувати на 5-10%, причому тим більше, що вищий рівень форсування базового дизеля.

У порівнянні з базовими газові та газодизельні трактори при експлуатації забезпечують: економію дизельного палива відповідно на 100 та - понад 50%; збільшення ресурсу до першого капітального ремонту газового двигуна та газодизеля, а також тривалості роботи моторної олії до заміни - на 30-35 та 15-20 %; зниження димності відпрацьованих газів газодизеля в 3 - 4 рази (у газового двигуна вона практично відсутня), викидів оксидів азоту з газами, що відпрацьовали відповідно в 1,5-2 рази і на 10-20%.

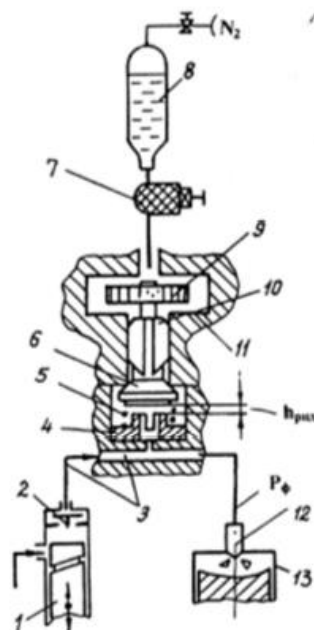


Рис. 1.2. Схема експериментальної системи паливоподачі газодизеля з внутрішнім сумішоутворенням: 1 – плунжер; 2 – нагнітальний клапан; 3 – ЛВС; 4 – канал штуцерів; 5 – пружина; 6 – клапан РНД; 7 – фільтр; 8 – ємність; 9 - дод. замикаючий елемент; 10 – хвостовик клапана; 11 - напрямний корпус; 12 – форсунка; 13 – циліндр дизеля

Сумарний обсяг газових балонів, що встановлюються на газовий або газодизельний трактори, повинен забезпечувати їх безперервну роботу без дозаправки газом протягом не менше 10 год. що практично неможливо.

Тому на газовому тракторі зазвичай встановлюють стільки ж балонів, що і на газодизельному, в результаті його безперервної роботи без дозаправки зменшується.

Для переобладнання дизельного трактора на газовий необхідно внести конструктивні зміни: знизити ступінь стиснення; замінити систему харчування на газову; обладнати систему запалювання, що унеможливить роботу трактора на дизельному паливі.

Проведені дослідження показали, що номінальна потужність і максимальний крутний момент газових двигунів вдалося зберегти такими ж, що й у базових дизелів, через невисокий рівень форсування останніх переобладнаних газодизельних тракторів. Розвинули самі потужності і максимальні крутні моменти, як і базові.

У ПДУ ім. Т.Г. Шевченка за участю автора було проведено дослідження з переведення дизельного ДВЗ на багатопаливний режим з дооснащенням його змішувальними камерами, що забезпечують оптимальне співвідношення палива та газу та подачу в циліндри двигуна.

Однак це рішення дещо поступається системам електронного упорскування, які стали доступнішими для автотракторної техніки і отримали широке застосування.

При використанні в агропромисловому комплексі стиснутого природного газу автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС) мають бути розміщені біля газопроводів (магістральних або місцевих мереж газопостачання). Від АГНКС до мобільних споживачів газ має доставлятися за допомогою газозаправників на базі автомобілів та колісних тракторів. Така система прийнятна лише газифікованих мікрорегіонів, мають розвинену мережу

доріг з твердим покриттям, і економічно виправдана лише за видаленні споживачів газу лише на 25-30 км від АГНКС.

Тракторний парк налічує 52 484 одиниці і споживає приблизно 4,5% поставляється дизельного палива. Воно дорожче за газ, що збільшує витрати на виробництво сільгосппродукції, так станом на 1 жовтня 2021 р. - співвідношення становить 2,5 рази. Тому переведення на газомоторне паливо є одним із перспективних напрямів.

Коли трактори переводять на газ, враховують забезпеченість ним виконання комплексу технологічних операцій, без погіршення оглядовості для механізатора. У зв'язку з цим доцільно застосовувати газодизелі, які можуть за відсутності газу працювати на дизельному паливі ВНДІГАЗом та ВІМом створені газобалонні трактори з газодизельними двигунами з розміщенням газових балонів на даху кабін колісних тракторів МТЗ-80/82, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55 для забезпечення оглядовості при виконанні всіх технологічних операцій.

На тракторах з рамою (К-701, Т-150К), що ламається, газові балони знаходяться на задній напіврамі (два пакети), не заважаючи оглядовості зчпного пристрою і причіпних машин. Запас газу забезпечує безперервну роботу на енергоємних операціях протягом 4,5 – 7 годин залежно від типу трактора. На менш енергоємних операціях трактор може працювати на газі від 9 до 13 години. Загальна тривалість роботи без дозаправок збільшується на 20–50%.

Однак забезпечити всережимність регулювання у всьому діапазоні навантажень та частоти обертання двигуна не уявлялося можливим. Було створено спеціальні електронні системи регулювання. Перші такі системи були встановлені на тракторі К-701, де вони виявилися ефективними. Переобладнаний газобалонний трактор забезпечував підвищення тягових характеристик.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПОДАЧІ ЗАПАЛЮВАЛЬНОЇ СУМІШІ В ЦИЛІНДРИ ДВИГУНА ПРИ КОНВЕРТУВАННІ В ГАЗОДИЗЕЛЬ

Вимоги, які сьогодні висувають до газодизелів, включають забезпечення можливості роботи і в дизельному і в газодизельному режимі.

Розробку паливної системи вели з урахуванням даної вимоги.

Як зазначалося раніше, при виборі способу подачі газового палива перевагу віддають схемі із зовнішнім способом сумішоутворення і шляхом подачі газу під надлишковим тиском у колектор впускний.

До систем паливоподачі газодизеля висувають низку вимог.

Так, до її завдання входить забезпечення подачі палива в кількості, що відповідає режиму роботи. Для запобігання перевантаженню газодизеля та виходу його з ладу необхідно виключити можливість подачі газового палива, у тому випадку, якщо з якихось причин не увімкнеться механізм обмеження подачі рідкого палива. У зв'язку з тим, що газодизель, що розробляється, призначений для використання в якості енергетичного засобу, йому потрібно підтримувати задану частоту обертання колінчастого валу. Розробка паливної системи газодизеля проводилась із мінімальними конструктивними змінами, використовувалося стандартне газове обладнання.

Паливна система дизеля СМД-18 прийнята як базова. У конкретному газодизелі використовується польське та італійське газове обладнання. Деякі елементи обладнання зазнали модернізації, що забезпечило найкращу конвертацію дизеля СМД-18 (рис. 2.1).

Змішування газового та повітряного потоків проводиться безпосередньо у впускному колекторі 1. Газове паливо підводиться за допомогою електромагнітних газових форсунок (інжектор) 20. Газовий інжектор - це швидкодіючий електромагнітний клапан, який по сигналу від електронного блоку 17 управління відкривається, і через нього проходить доза палива (газу).

Відкриття та закриття клапана відбувається синхронно з обертанням колінчастого валу. Електромагнітний інжектор забезпечує відкриття отвору для проходження палива за 0,6 мс, закриття за 2,0 мс та дозволяє працювати з частотою до 250 Гц.

Місце встановлення газових форсунок зумовлене конструкцією впускного колектора та розраховане таким чином, що кожна форсунка забезпечує газом паливом роботу одного циліндра.

Дозування газового палива здійснюється шляхом регулювання подачі через електромагнітні газові форсунки за допомогою електронної педалі.

Підтримується задана частота обертання колінчастого валу автоматично, в основному за рахунок зміни подачі газового палива шляхом керування роботою електромагнітних форсунок газових 20 (при цьому зміна подачі рідкого палива насосом високого тиску незначна). Для цього на торці ПНВТ змонтований кроковий двигун 11, з'єднаний через проміжний важіль з рейкою паливної насоса високого тиску. Кроковий двигун 11, обертаючись (за і проти годинникової стрілки), забезпечує зміну подачі рідкого палива в незначних межах.

Газове паливо надходить до редуктора низького тиску традиційну схему, яка прийнята для газобалонних установок автомобілів. Дана схема передбачає резервуари високого тиску 2 для зберігання газового палива, вентиль 3, газопроводи, редуктор високого та низького тиску 5,7, електромагнітний запірний клапан 6, фільтр 4, а також інші елементи.

Щоб спалахнуло газове паливо, необхідна запальна порція дизельного палива. подача запального палива при цьому здійснюється в конкретний момент часу та в мінімальній кількості. Час подачі запального палива встановлюється відповідним регулюванням ПНВТ.

Щоб забезпечити роботу ПНВТ у режимі газодизеля, передбачено встановлення механізму надання мінімальної запальної суміші (ММЗД) дизельного палива, що перешкоджає переміщенню паливної рейки на збільшення подачі рідкого палива. Для полегшення керування переведення

ПНВТ у газодизельний режим здійснюється дистанційним перемиканням ММЗД дизельного палива.

При виборі конструктивної схеми механізму установки подачі запалювальної суміші дизельного палива було прийнято до уваги необхідність внесення змін до конструкції ПНВТ та регулятора для збереження робочих характеристик газодизеля в дизельному режимі без змін.

Розроблена схема дозволяє переводити дизельний двигун на роботу в газодизельний режим і не вимагає суттєвих конструктивних змін та переробок деталей всережимного регулятора, легко монтується та демонтується. Дуже важливо те, що відпадає потреба у спеціальній паливній апаратурі.

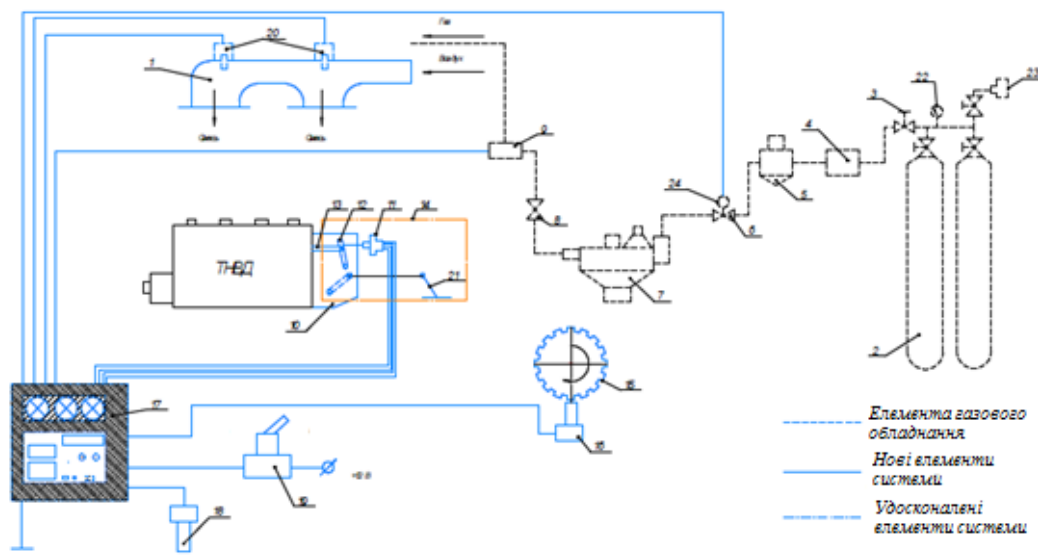


Рис. 2.1. Конструктивно-технологічна схема переведення дизельного ДВЗ на роботу в газодизельному режимі: 1 – впускний колектор; 2 – касета балонів; 3 – вентиль видатковий; 4 – фільтр газований; 5,7 - редуктори газові високого та низького тиску; 6 - клапан електромагнітний-газовий; 8,9 - жиклер та дозатор газу; 10 – всережимний регулятор ПНВТ; 11 - кроковий двигун; 12,13 - важіль регулятора та рейка ПНВТ; 14 – механізм обмеження запальної дози; 15 - крильчатка; 16,18 - датчики частоти обертання та температури; 17 - електронний блок управління (ЕБУ); 19 - перемикач режимів роботи двигуна; 20 - електромагнітний (газовий) інжектор; 21 – електронна педаль управління; 22 – манометр; 23 – наповнювальний вентиль; 24 - датчик аварійного падіння тиску

Принцип роботи апаратно-програмного комплексу "Газодизель - Pro", розробленого на кафедрі Агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету.

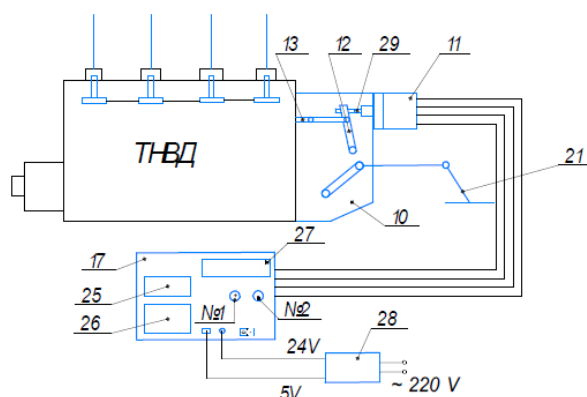


Рис. 2.2. Механізм обмеження запальної суміші: 11 – кроковий двигун «NEMA17»; 12 – вилка важеля регулятора; 17 – електронний блок керування (ЕБУ); 25 - драйвер крокового двигуна; 26 - програмована плата "Arduino UNO"; 27-LCD-дисплей; 28 – універсальний адаптер (блок живлення) на 12-24V; 29 - насадка на вал крокового двигуна з різьбленням; №1, №2 – дві кнопки (постійно замкнуті).

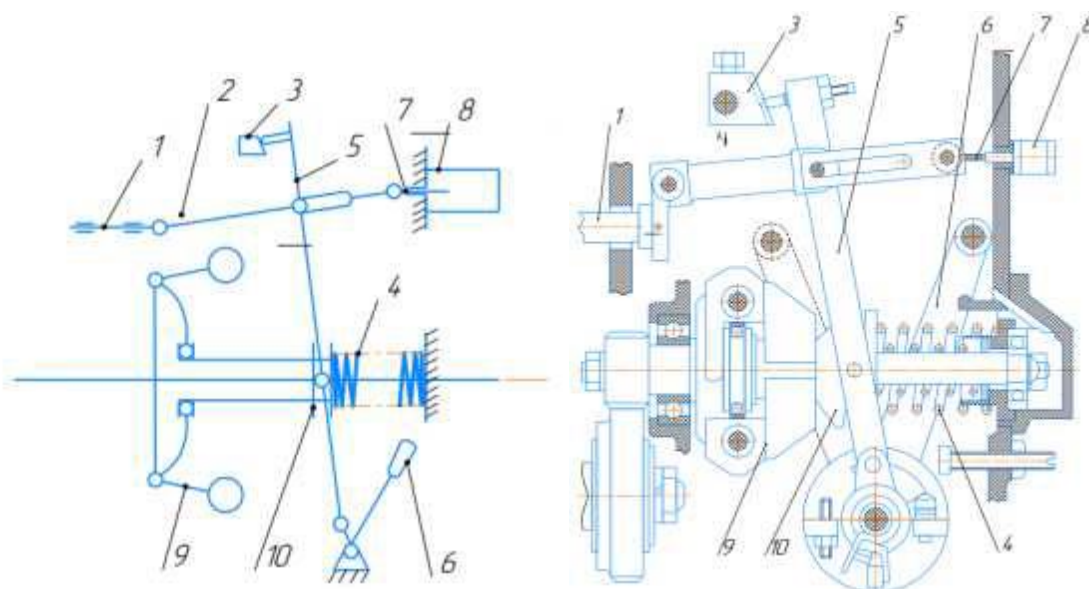


Рис. 2.3. Кінематична схема модернізованого всережимного регулятора РВ – 850: 1 – паливна рейка ПНВТ; 2 - вилка важеля регулятора; 3 – призма збагачувача; 4 – пружина регулятора; 5 – важіль регулятора; 6 – важіль

управління; 7 - насадка на вал крокового двигуна з різьбленням; 8 – кроковий двигун; 9 – грузики регулятора; 10 - рухома муфта

Програмний комплекс працює у необхідному режимі повноцінно за рахунок упорскування оптимально встановленого обсягу дизельного палива та відповідної роботи обмежувача. У разі позаштатної ситуації та підвищення подачі дизельного палива, кроковий двигун автоматично зменшить або припинить його подачу за 0,5 с. В результаті припиниться подача запалювальної суміші дизельного палива і газ не спалахне. Також у разі перевищення максимальних оборотів холостого ходу двигуна блок управління відключить живлення електромагнітного клапана 6 (див. рис. 2.1), та газова магістраль буде перекрита.

Програмне забезпечення апаратно-програмного діагностичного комплексу "Газодизель - Pro" написано мовою "C++" з використанням середовища розробки "Arduino IDE". Вона дозволяє виробляти програмування та налагодження програми через USB порт ПК, що прискорює процес налагодження програми.

Паливний насос високого тиску ЛСТН410010 був змонтований на стенді КІ-921М, призначеному для випробування та регулювання паливних насосів. Методика випробувань використовувалась стандартною.

Результати безмоторних випробувань серійного ПНВТ дизеля СМД-18 показали, що при витраті годині 16 кг/год нерівномірність подачі може становити більше 30%.

Як показали дослідження, важливим фактором при регулюванні та встановленні запалювальної суміші паливній апаратурі є довжина трубопроводів високого тиску. Якщо при регулюванні ПНВТ дизельного двигуна цим фактором можна знехтувати, то для газодизеля він є ключовим. При зміні довжини трубопроводу різко змінюються норми упорскування палива, особливо це позначається під час роботи з мінімальними дозами упорскування.

Для забезпечення стабільності упорскування запалювальної суміші дизельного палива газодизеля необхідно проведення регулювання ПНВТ

на рівномірності подачі палива по секціях у зоні малих циклових подач з використанням базових трубопроводів та форсунок. Результати безмоторних випробувань серійного насоса паливного ЛСТН410010 дизеля СМД-18Н наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Оцінка можливості роботи ПНВТ за умов обмеження запалювальної суміші

Переміщення ММЗД, L, мм	Подання за 1 хвилину				Середня величина подачі, мл	Розмір подачі палива, %	Годинна продуктивність насоса GT, кг/год	Нерівномірність подачі палива за секціями, %
	Номери секцій насоса							
	1	2	3	4				
0	98	98	98	98	98	100	23,6	0
3,8	78	76	78	79	77,75	80	18,7	3,86
4,8	60	57	57	60	58,5	60	16,5	5,13
5,6	30	30	29	29	29,5	30	7,1	3,5
7,8	21	20	20	21	20,5	20	4,8	4,88
9	15	15	14	15	14,75	15	3,6	6,79

Дана система паливоподачі газодизеля дає можливість експлуатувати його і в газодизельному і в дизельному режимі.

Подібна система (рис. 2.1) містить газові балони 2 для зберігання газу. Тиск в них контролюється за манометром 22, вони з'єднані трубопроводом через видатковий вентиль 3 і підігрівач з редуктором високого і низького тиску 5,7. Газоподібне паливо надходить до електромагнітної форсунки 20 і далі у колектор впускний через електромагнітний клапан 6. Система автоматичного управління подачі газового палива передбачає електричний кроковий двигун 11, який встановлений на торці всережимного регулятора паливного насоса високого тиску. Електричний кроковий двигун з'єднується з блоком керування 17.

Паливний насос високого тиску забезпечений всережимним регулятором, на якому змонтовано механізм забезпечення мінімальної запалювальної суміші(ММЗД) дизельного палива 14 (рис.2.1).

Всережимний регулятор з ММЗД дизельного палива працює в такий спосіб.

При натисканні на важіль 21 (педаля управління) під дією пружин 4 та вилки тяги 2 відбувається переміщення рейки насоса та зміна пропускнуго отвору (перетину) у плунжері паливного насоса. Величини переміщень залежать від вільного ходу вилки тяги електричного 2 крокового двигуна 8. Одночасно в циліндри двигуна окремою системою надходить газоповітряна суміш, що забезпечує його роботу в газодизельному режимі. У такий спосіб досягається дозована подача дизельного палива. Використання вилки тяги дозволяє компенсувати дію регулятора при збільшенні подачі палива та задіяти регулятор як запобіжник при аварійному збільшенні числа обертів двигуна.

Описана схема дозволяє всережимному регулятору працювати в необхідному режимі повноцінно за рахунок упорскування оптимально встановленого обсягу дизельного палива (від 7 до 100%) та відповідної роботи коректора. У разі позаштатної ситуації та підвищення подачі дизельного палива всережимний регулятор автоматично зменшить або припинить його подачу за рахунок переміщення в важеля 5 у прорізах вилки тяги 2 (рис.2.3). Через війну виключається подача запалювальної сумішідизельного палива, і газ не спалахне, тобто. регулятор служить запобіжником.

Проведені випробування підтвердили стійку роботу дизельного двигуна у газодизельному режимі, що забезпечує зниження витрат на переобладнання, економію дизельного палива та інші переваги під час експлуатації двигунів з використанням даного виду палива.

Для забезпечення захисту системи подачі газового палива запропоновану систему включений датчик аварійного падіння тиску газового палива 24. Балони високого тиску заповнюються через наповнювач 23, рис. 2.1.

При роботі в дизельному режимі газодизеля система подачі рідкого палива працює як у звичайному дизелі. Перемикач режиму 19 встановлюється положення "Дизель". При цьому електромагнітним клапаном перекривається б подача газового палива. Обмежувач упорскування запалювальної суміші дизельного палива вимикається. Вільне переміщення рейки ПНВТ під впливом регулятора забезпечується за рахунок переміщення штока електричного 7 крокового двигуна; подача рідкого палива змінюється від мінімальних до максимальних величин.

Запуск та прогрів при включенні газодизельного режиму здійснюється тільки на дизельному паливі, перемикач режиму роботи знаходиться у положенні "Дизель". Витратний вентиль 3 відкритий, подача газового палива до редуктора низького тиску перекрита електромагнітним клапаном б.

Після прогріву двигуна перемикач управління перетворюється на положення «Газодизель». На пульті загоряється контрольна лампа.

На електричний кроковий двигун 11 подається живлення та його шток-сердечник, обертаючись, встановлює задану величину впорскування запалювальної суміші дизельного палива.

При натисканні на педаль управління 21, змонтовану спільно з педаллю електронної подачі газу, подається сигнал на електронний блок управління (ЕБУ), який, у свою чергу, керує відкриттям/закриттям електромагнітних газових форсунок. Відкриття форсунок здійснюється відповідно до даних датчика кута повороту колінчастого валу 16. Доза порції газу, що впорскується, регулюється часом відкриття газових форсунок. Час відкриття встановлює ЕБУ на підставі даних, отриманих від датчиків електронної педалі 21, кута повороту колінчастого валу 16.

При збільшенні навантаження на колінчастому валу газодизеля частота обертання зменшується, а 9 регулятори починають сходиться.

Рухлива муфта 10 регулятора переміщає важіль 5, проте за рахунок прорізів вилки тяги 2, що компенсує це переміщення, і 7 положення рейки ПНВТ залишається незмінним (рис. 2.3).

За рахунок подачі газового палива крутний момент газодизеля збільшується і частота обертання колінчастого валу розтане, вантажі 9 регулятора, долаючи зусилля затягування пружини 4, починають розходитися і пересувати рухому муфту 10.

У разі зменшення навантаження на валу частота обертання збільшується, вантажі регулятора починають розходитися, однак, як було сказано вище, величина запальної суміші залишається незмінною. Зміна крутного моменту та частоти обертання газодизеля можлива лише подачею газового палива.

Всережимний регулятор може здійснювати свою роботу при переміщенні важеля 5 і рейки 1 в режимі газодизеля, в межах величини запальної дози.

Датчик аварійного падіння тиску 24 спрацьовує при падінні тиску газу в міру його витрати з балонів або при несправності редуктора високого тиску і загоряється сигнальна лампа.

У момент вимкнення подачі газового палива електричний кроковий двигун переводить шток 7 в початкове положення, рейка ПНВТ під впливом регулятора починає вільно переміщатися, а газодизель перетворюється на дизельний режим.

У газодизелі з розробленою системою паливоподачі забезпечується той самий ступінь нерівномірності частоти обертання, що і в базовому дизелі.

Таким чином забезпечується необхідна для ДВЗ стабільність частоти обертання.

З вищевикладеного видно, що ММЗД палива паливної системи газодизеля може функціонувати як при крайніх режимах номінальному і режимі холостого ходу, і на проміжних, наприклад транспортних операціях.

Висновки по розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено пристрій подачі запалювальної суміші в циліндри двигуна при конвертуванні в газодизель

РОЗДІЛ 3

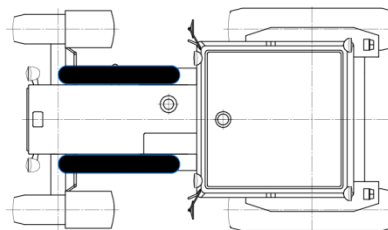
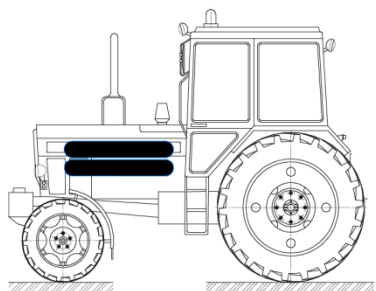
РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ КОМПЛЕКТУ БАЛОНІВ НА ТРАКТОРІ З ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ

Нова система живлення містить у собі такі елементи: батарея (комплект) балонів, наповнювальний вентиль, система дозування дизельного пального, електромагнітні форсунки, електронна педаль керування, газовий редуктор високого тиску (ГРВТ), витратний електромагнітний клапан і манометр.

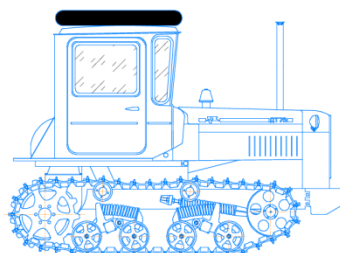
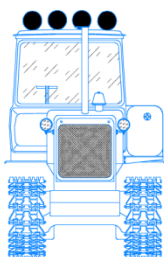
Батарею балонів заповнюють стисненим до 20 МПа (200 кгс/см²) природним газом. Для контролю тиску газу в балонах встановлюється манометр 22.

Потім газ проходить через видатковий електромагнітний клапан. За електромагнітним клапаном розташований одноступеневий газовий редуктор високого тиску 5 (ГРВТ, на вході 20 МПа і автоматично підтримує тиск на виході 0,95-1,1 МПа). Якщо тиск нижчий за 0,95 МПа, редуктор залишається постійно відкритим. Фільтр на вході в ГРВД вловлює механічні частинки розміром понад 50 мкм. Далі газ надходить до електромагнітних форсунок 20, керування якими здійснюється електронною педаллю 21 з кабіни водія.

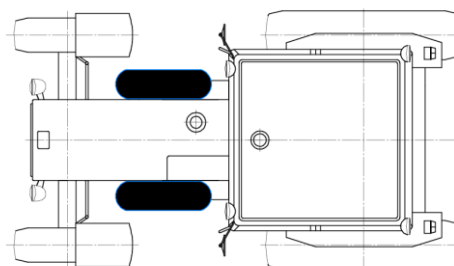
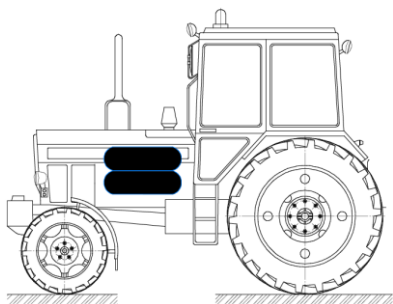
Дозування газу електромагнітними форсунками забезпечує гарантовану норму подачі та якісне приготування гомогенної суміші і, в кінцевому рахунку, отримання заданої частоти обертання колінчастого вала двигуна.



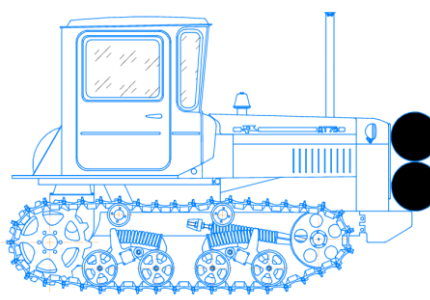
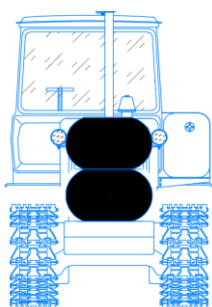
а



б



в



г

Рис. 3.1. Схема пропонованого компонування газових балонів на тракторі:
а – компонування стандартних балонів високого тиску; б, в, г – компонування
полегшених балонів (металопластикових).

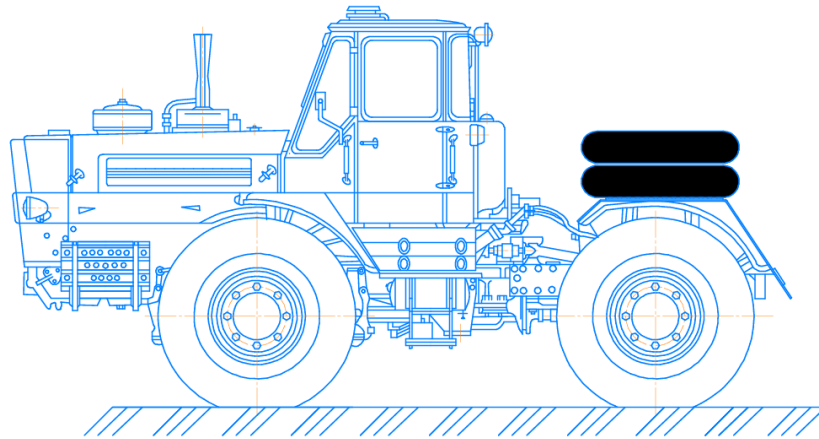


Рис. 3.2. Схема компонування газових балонів на тракторі К-701 і Т-150К

Новим у пропонованій схемі є встановлення на корпусі всережимного регулятора 10 паливного насоса високого тиску механізму забезпечення мінімальної запалювальної суміші¹⁴, що слугує для зменшення циклової подачі палива під час переходу двигуна з дизельного режиму на газодизельний.

Встановлення газових балонів на автомобілі не викликає особливих труднощів. Встановлення ж балонів на тракторах викликає низку труднощів.

Так, встановлення стандартних газових балонів високого тиску може призвести до погіршення оглядовості, що вельми важлива при виконанні с/г робіт, також це спричинить збільшення ваги трактора, який і без того сильно впливає на ґрунт, не кажучи вже про естетичний вигляд машинотракторного агрегату.

Варіант а дає змогу використовувати стандартні балони високого тиску. Використання полегшених балонів із використанням скловолокон дасть змогу реалізувати варіанти б, в і г, запропоновані на рис. 1.

Використання полегшених газових балонів дасть змогу встановити їх на даху тракторів, що центр ваги трактора змінить несуттєво. Запропоновані варіанти є далеко не єдиними.

Схема встановлення балонів на різні марки тракторів може бути суто індивідуальною. Так, наприклад, кінематична схема для тракторів типу Т-150К і К-701 дає змогу встановити комплект балонів ззаду практично без погіршення оглядовості (рисунок 3.2).

Розміри верхньої частини кабіни трактора ДТ-75М - 1450×1370 мм, що дозволяє нам розмістити балони.

Однак для наших цілей і експериментальної перевірки в польових умовах нами було проведено модернізацію стандартних 50-літрових балонів за ДСТУ.

З огляду на те, що діаметр виробу 219 мм, а довжина 1755 мм, вагою 93 кг, за необхідних 1400 мм із цих балонів за рахунок зменшення їхньої довжини було виготовлено касету з 5 балонів із габаритами, що відповідають розмірам верхньої частини кабіни, параметри якої 1500×1350 мм. Модернізація балонів з їх відновленням проведена наступним чином. Балон, що підлягає модернізації, після зовнішнього очищення і просушування розрізається на два рівновеликих елементи по центру циліндричної частини. Кожен елемент спорожняється від залишків вмісту. Після очищення внутрішньої порожнини балона циліндричні частини зсередини піддають потоншенню механічною обробкою або ротаційною витяжкою до розрахункової товщини зі збереженням початкової товщини в зоні зрізу, яка обробляється під стикове зварювання зовнішнім кільцевим швом. При цьому розміри половинок виконують такої довжини, щоб під час стикування сумарна довжина балона становила 1400 мм, вага модернізованого балона - 62 кг, а об'єм балона - 40 л.

Підготовлені елементи стикують, центрують у кондукторі за віссю обертання і зварюють кільцевим зовнішнім швом, який потім зашпаровують урівень із поверхнею балона. Зібраний у такий спосіб балон витягують із кондуктора і піддають зміцненню армувальною склопластиковою оболонкою (мал. 2) у такий спосіб.

Скляний ровнінг - джгут, що складається з десяти комплексних ниток, що має текс 2400 і розривне навантаження 630 Н, просочують сполучною речовиною без розчинника такого складу (ваг.ч.): епоксидна діанова смола ЕД-22 - 100; тетраетилентеграмін - 10; діоктилфталат - 8.

Просочений ровнінг протягують через фільтру, віджимають надлишок сполучного, доводять його до необхідних 30 - 38%. Такий ровнінг намотують на

циліндричну частину металевого балона в шість шарів, загортають у папір з антиадгезійним покриттям або поліпропіленову плівку і витримують при $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ дві години. Потім виріб охолоджують, знімають обгортку і отримують готовий балон з товщиною зміцнювального шару склопластику $1,5\text{ мм}$, який перекриває неутонену донну частину балона на 12 мм .

Таке виконання зміцнювального шару спрощує процес відновлення балона, забезпечує посилення утоненої циліндричної частини без значного збільшення його маси, водночас балон, відновлений запропонованим способом, під час руйнування не дає осколків, забезпечуючи тим самим безпеку його експлуатації.

Отриманий у такий спосіб балон розрахований на робочий тиск 20 МПа з коефіцієнтом запасу міцності не менше ніж $1,6$ і під час гідравлічних випробувань показав величину початку руйнівного тиску в 32 МПа .

Балони з'єднують у касети, які встановлюють на верхній частині кабіни трактора. Маса касети з 5 балонів становила 340 кг . Розміщення її на кабіні трактора з урахуванням його маси в 6550 кг , зосередженої переважно в нижній частині, практично не вплине на зміщення центру ваги і не знизить його стійкості.

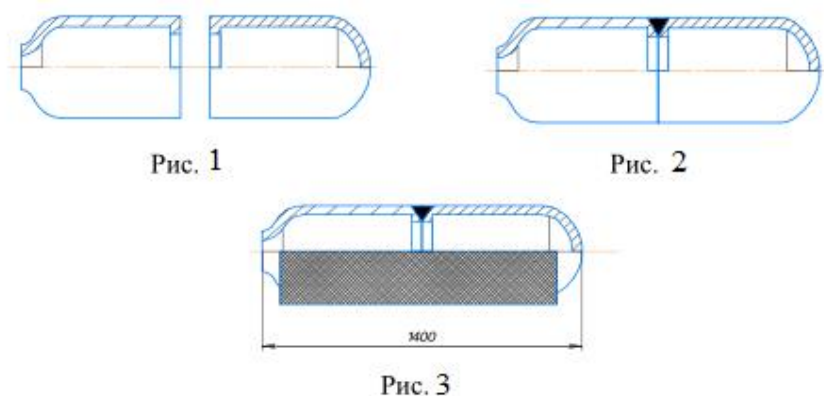


Рис. 3.3. Конструкції балонів.

За аналогічною технологією було запропоновано вдосконалену конструкцію газового балона високого тиску для метану, виконаного з композитів тороїдальної форми, що дала змогу знизити габарити балона та виконати його габаритними розмірами, зіставними з розмірами запасного колеса легкового автомобіля: дана робота була презентована на II інвестиційному форумі. .

Надалі цей спосіб набув подальшого розвитку в плані спрощення процесу виготовлення газових балонів високого тиску різної форми: циліндричної, тороїдальної, кулястої. Так, у технологічній схемі виготовлення балона складна і витратна технологія намотування скляним ровнінгом, просоченим епоксидним сполучною речовиною, що вимагає спеціального обладнання, замінено на технологію виготовлення шляхом гарячого пресування двох симетричних заготовок із фланцями по твірній з рівної кількості шарів препрега в прес-формах. формах, з подальшим фланцевим з'єднанням отриманих заготовок, а в армувального матеріалу застосовують тканину з високомодульного композитного волокна. композитного волокна.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконано аналіз та обґрунтування способу конвертування дизеля в газодизель та виду використовуваного газового палива, адаптовано методику синтезу для моделювання робочого циклу газодизеля з комбінованим сумішоутворенням.

Розроблено паливоподавальну систему живлення газодизельного двигуна з комбінованим сумішоутворенням з мінімальними конструктивними змінами. Для цього ПНВТ укомплектований механізмом мінімізації запалювальної суміші дизельного палива, а система живлення комплектом обладнання, що включає балони для компримованого природного газу, заправну, розподільну та контрольну апаратуру.

Регульовальна характеристика щодо відносної величини запалювальної суміші палива показує, що збільшення частки газового палива супроводжується істотним зростанням показників тепломеханічної навантаженості газодизеля, при цьому зменшення кута початку подачі запального палива дозволяє досягти зниження цих показників.

Зміни енергетичних показників роботи газодизельного двигуна на рідкому паливі та газодизельному режимі показали, що потужність падає не більше ніж на 10...12 % порівняно з рідким паливом. Вищий коефіцієнт надлишку повітря під час роботи в газодизелі призводить до деякого зниження теплотворності робочої суміші та зменшення швидкості згоряння, цим підтверджується зниження до 10% номінальної потужності двигуна.

Розроблена в роботі конструктивна схема розміщення комплекту балонів на тракторі дозволяє рекомендувати встановлення касети з 5 одиниць розміром 1500×1350 мм модернізованих полегшених на 31 кг метанових балонів з розміщенням її над кабіною трактора, без погіршення огляду механізатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семенов В.Г. Україна без нафти: стан і перспективи розвитку виробництва та застосування екологічно чистого біодизельного палива. Наука та інновації. 2008. Т.4. № 1. С. 81 – 86.
2. Калетнік Г. М. Диверсифікація розвитку виробництва біопалив – основа забезпечення продовольчої, енергетичної, економічної та екологічної безпеки України. Вісник аграрної науки. 2018. № 11. С. 169-176.
3. Гунько І.В., П'ясецький А.А., Бурлака С.А. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2 (97). С.47-51.
4. Рябошапка В.Б. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо. Науково-технічний прогрес у розвитку машин і засобів механізації сільського господарства: матеріали науково-технічної конференції, м. Вінниця. 2008. 4 с.
5. Анісімов В. Ф. Напрямки створення багатопаливних двигунів на базі дизельного циклу. *Промислова гідравліка і пневматика* №2(32)‘2011. С. 100-105.
6. Анісімов В.Ф. Апроксимація і моделювання процесу згорання в сільськогосподарських тракторних дизелях з використанням біопалива. Матеріали всеукраїнської науковопрактичної конференції [«Сучасні агротехнології: тенденції та інновації»] у 3 т. – Т.3. – Вінниця: РВВ ВНАУ. – 2015. С. 4 - 7.
7. Семенов В.Г. Моделювання процесу згорання в тракторних і комбайнових дизелях, працюючих на різних видах палива за допомогою уточненої моделі І. І. Вібе шляхом апроксимації експериментальних даних. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. №1 (91). 2015. С. 52 - 58.

8. Анісімов В. Ф. Шляхи і методи підвищення довговічності і надійності роботи паливної апаратури автотракторних двигунів. Монографія, ВНАУ, 2012. 134с.
9. Гунько І. В. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2017. №2 (97). С. 139–144.
10. Войтов В.А. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосування біодизеля. Тракторна енергетика в рослинництві. Харків : ХНТУСГ, 2009. С. 111 – 120.
11. Сандомирський М.Г. Результати випробування дизеля 4ЧН12-14 на дизельному паливі і паливах рослинницького виду. *Тракторна енергетика в рослинництві*. 2009. – С. 121 – 125.
12. Мазур В. А. Вплив на екологічні показники роботи дизельних двигунів за використання біодизеля. *Сільське господарство та лісівництво*, 2018. – №11. - С. 16–25.
13. Войтов В.А. Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення з використанням біологічного палива. *Техніка і технології АПК*. 2010. №1. С. 13 – 18.
14. Рябошапка В.Б. Форсування потужності дизельного двигуна за рахунок використання турбонаддування. Техніка, енергетика, транспорт АПК. - №4(103) Вінниця, 2019. С. 75 – 87.
15. Рябошапка В. Б. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо. Матеріали науково-технічної конференції —Науково-технічний прогрес у розвитку машин і засобів механізації сільського господарства – Вінниця 2008. – 4с.
16. Музичук В. І. Застосування чисельних методів при дослідженні теплових процесів на математичних моделях. *Збірник наукових праць*

Вінницького національного аграрного університету, Серія: Технічні науки, №10 т. 2 (59), Вінниця, 2012. С. 145-148.

17. Забродський П. М., **Коновалов І. І.** Розробка конструктивної схеми розміщення комплексу балонів на тракторі з газодизельним двигуном. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 58-60.

18. Забродський П.М., **Коновалов І. І.** Обґрунтування конструктивних параметрів балонів системи живлення газодизельних двигунів. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”.* 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.