

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Колеснєв Володимир Олексійович

УДК 629.3.083.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО- ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ТРАКТОРА НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБОТАХ
МЕТОДОМ ДВОФАЗНОГО СУМШОУТВОРЕННЯ В ДИЗЕЛІ**

208 “Агроінженерія”

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

_____ Колеснєв В.О.

Керівник роботи

Дерев'яно Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Колеснев Володимир Олексійович. Поліпшення техніко-енергетичних показників трактора на сільськогосподарських роботах методом двофазного сумішоутворення в дизелі. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі розроблено та виготовлено дослідно-конструкторський зразок електронної системи упорскування паливного активатора, що встановлюється у штатну систему живлення тракторного дизеля з механічним керуванням паливо-подачею.

Результати лабораторних досліджень показують, що розроблена система електронного упорскування паливного активатора забезпечує високу точність дозованої подачі паливного активатора, при цьому задана доза активатора узгоджена з масовою витратою палива.

Результати стендових досліджень трактора показують, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% дози бензанола Е30 дотична сила тяги збільшується на 5%, з подачею 20% дози – на 9% порівняно з роботою трактора в штатній комплектації з однофазним сумішоутворенням. При цьому тягова потужність підвищується на 7 % і 11 %, питома витрата палива знижується на 7 % і 12 % відповідно при подачі 10% та 20% дози.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА показують, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% та 20% дози бензанола Е30 експлуатаційна потужність трактора збільшується відповідно на 7 % та 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % та 14 %, погектарна витрата палива знижується на 6 % та 9 %.

Ключові слова: паливо, сумішоутворення, трактор, потужність, двигун.

ANNOTATION

Kolesnev Volodymyr Oleksiyovich. Improvement of technical and energy indicators of the tractor using agricultural robots using the method of two-phase mixing in a diesel engine. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the master's work, the pre-design work of the electronic firing activator persistence system was developed, which is installed in the standard life cycle system of a tractor diesel engine with mechanical fuel feeders.

The results of laboratory studies show that the fragmented electronic prestressing system of the firing activator will ensure high accuracy of the dosed supply of the firing activator, in which the dose of the activator is set according to the mass concentration of the burning activator.

The results of bench testing of the tractor show that with a two-phase mixture, with the supply of a 10% dose of benzanol E30, the traction force increases by 5%, with the supply of a 20% dose - by 9%, equal to the standard tractor operation complete set with single-phase. crazy creations. When the traction tension moves by 7% and 11%, the power consumption decreases by 7% and 12%, similar to when giving 10% and 20% doses.

The results of regular operational observations of the tractor at the warehouse MTA show that with biphasic mixing with the supply of 10% and 20% doses of benzanol E30, the operational strength of the tractor increases obviously by 7% and 12%, MTA productivity is moving up by 8% and 14%, per hectare burning yield is decreasing by 6% and 9%.

Key words: burning, madness, tractor, tension, engine.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПОЛПШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВНОГО АКТИВАТОРА. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Значну частку енергетичних засобів в АПК складають трактори, які нині досягли певного рівня досконалості за основними техніко-енергетичними показниками. Основною енергетичною установкою с.-г. тракторами є дизелі – двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) із займанням від стиску та безпосереднім упорскуванням палива в камеру згоряння.

Досвід експлуатації вітчизняних тракторів у складі машинно-тракторних агрегатів (МТА) під час виконання різноманітних с.-г. робіт (оранка, культивування, боронування, посів та ін.) показує, що вони поступаються закордонним аналогам за своїми техніко-енергетичними показниками. Основною причиною цього є відсутність конкурентоспроможних технічних розробок, спрямованих на практичну реалізацію відомих способів, що покращують експлуатаційні показники с.-г. тракторів.

Одним з таких ефективних способів є двофазне сумішоутворення, що полягає в подачі у впускний трубопровід дизеля певної дози (10-20%) дрібнорозпиленого паливного активатора (бензину, спирту, біопалива та ін) у такті впуску (1-а фаза сумішоутворення). При цьому основна доза дизельного моторного палива (80-90 %), впорскується в камеру згоряння штатною форсункою в кінці такту стиснення (2-я фаза сумішоутворення). За такої організації робочого процесу в такті впуску відбувається утворення активаторно-повітряної суміші та надходження її до циліндрів дизеля. У такті стиснення зазначена суміш стискається і утворює осередки займання, що прискорюють передполум'яну підготовку та згоряння основної дози дизельного палива (ДП). В результаті підвищуються повнота згоряння горючої суміші (паливо + активатор + повітря), збільшується потужність та ККД дизеля, покращуються його паливно-економічні та екологічні показники, і, як наслідок, техніко-енергетичні показники трактора у складі МТА.

Таким чином, дослідження, спрямовані на покращення техніко-енергетичних показників тракторів шляхом двофазного сумішоутворення у дизелі, є актуальними та практичними значущими для аграрного виробництва.

Об'єкти досліджень. Процес роботи сільськогосподарського трактора тягового класу 1,4 у складі орного агрегату під час роботи дизеля з двофазним сумішоутворенням.

Предмет досліджень. Техніко-енергетичні показники колісного трактора типу МТЗ-80/82 у складі орного агрегату під час роботи дизеля з двофазним сумішоутворенням.

Мета досліджень – покращення техніко-енергетичних показників сільськогосподарського трактора тягового класу 1,4 шляхом реалізації сумішоутворення у дизелі у дві фази.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення таких **завдань** досліджень:

Розробити та виготовити дослідно-конструкторський зразок електронної системи упорскування паливного активатора, що встановлюється в штатну систему живлення тракторного дизеля та забезпечує автоматичну дозовану подачу активатора в такті впуску дизеля при його роботі на різних навантажувальних та швидкісних режимах.

Провести лабораторні дослідження системи двофазного сумішоутворення в дизелі, стендові дослідження дизеля та трактора та експлуатаційні дослідження колісного трактора класу 1,4 з двофазним сумішоутворенням.

Методи наукового дослідження. Дослідження виконані з використанням основних положень експлуатації машинно-тракторного парку, теорії руху колісних машин, теорії сільськогосподарських машин та теорії ДВЗ. За метод дослідження прийнято метод порівняльних стендових та експлуатаційних досліджень дизеля, трактора та МТА у штатній комплектації (з однофазним сумішоутворенням) та в експериментальній комплектації (з двофазним сумішоутворенням).

Розробка системи двофазного сумішоутворення у тракторному дизелі базувалася на сучасному стані розвитку електронних систем автоматичного керування з використанням засобів САПР КОМПАС 3D V16, IAR Embedded Workbench, Mentor Graphics PADS DxDesigner. Обробка результатів досліджень виконувалася з використанням програм Microsoft Excel 2013 та MathCAD 14.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янюк Д. А., **Колеснієв В. О.** Розробка електронної системи впорскування паливного активатора в першій фазі сумішоутворення. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 290-294.

2. Дерев'янюк Д. А., **Колеснієв В. О.** Результати лабораторних досліджень системи двофазного сумішоутворення в дизелі. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.

3. **Колеснієв В. О.** Удосконалення ходової частини та навісної системи тракторів. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 17-19.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та виготовлено дослідно-конструкторський зразок електронної системи упорскування паливного активатора, що встановлюється у штатну систему живлення тракторного дизеля з механічним керуванням паливо-подачею.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 26 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМИХ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

Основними сучасними тенденціями розвитку с.-г. тракторів є: розширення тягового діапазону; застосування нетрадиційних видів пального; зниження питомого тиску рушіїв на ґрунт; використання системи електронного управління подачею пального; удосконалення ходових систем тракторів; застосування трансмісій із перемиканням передач під навантаженням; регулювання навісної системи [1-3].

Ці та інші способи й засоби підвищення ефективності використання тракторів спрямовані на розв'язання пріоритетних завдань енергоресурсозбереження: підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів (МТА), зниження витрат на моторне пальне та скорочення екологічних збитків, спричинених різноманітними факторами техногенного впливу автотракторної техніки на довкілля (викиди відпрацьованих газів, стоки відпрацьованих нафтопродуктів, ущільнення ґрунту та ін.).

Ефективність використання с.-г. тракторів у складі МТА під час виконання різних видів робіт у рослинництві та тваринництві можна оцінити за низкою показників: ефективна потужність, дотична сила тяги, тягова потужність, сила тяги на гаку трактора, гакова потужність, питома гакова витрата пального, погектарна витрата пального, продуктивність та ін. [19]. [4-19]. Однак усі ці показники характеризують якусь одну експлуатаційну властивість трактора (наприклад, тягову динаміку або паливну економічність). При цьому в науковій і технічній літературі недостатньо уваги приділено показникам, що дають змогу комплексно оцінити ефективність функціонування трактора у складі МТА.

Одним із таких показників є питома ефективна витрата енергії на колінчастому валу тракторного дизеля.

Для розширення тягового діапазону і поліпшення тягово-швидкісних показників сільськогосподарські трактори оснащують коробками передач [27-31], що дають змогу повністю або частково автоматизувати процес перемикання передач, а також забезпечити перемикання без розриву потоку потужності (наприклад, коробки передач із гідропідтискними муфтами тракторів ХТЗ-150 К, Беларус-1221 тощо), у яких ручне керування перемиканням передач здійснюється за допомогою гідросистеми.

Різні моделі тракторів канадської фірми Buhler-Versatile, можуть оснащуватися коробками передач [2, 3] ZF (з електрогідравлічним керуванням), OKUBO (з ручним керуванням і перемиканням під навантаженням), Caterpillar (з електрогідравлічним керуванням і перемиканням під навантаженням).

Деякі моделі тракторів John Deere оснащені трансмісією з автоматичною коробкою передач Automatic PowerShift, представленою на рис. 1.1. Коробка передач має контролер керування, який дає змогу здійснювати автоматичне перемикання передач, враховуючи при цьому положення рейки паливного насоса та кутову швидкість колінчастого вала двигуна. Забезпечення контролером коробки передач переходу на знижені або підвищені передачі здійснюється перемиканням відповідного перемикача з індикатором на панелі приладів і ввімкненням автоматичного режиму роботи коробки PowerShift. Ця коробка передач керує силовим потоком за допомогою гідравліки і ввімкнення низки внутрішніх фрикційних муфт [4-7].

Коробка передач Vario, якою оснащуються трактори марки Fendt, є прикладом безступінчастої трансмісії. Потужність передається від рушія до рушіїв після поділу двох потоків – механічного та гідравлічного від первинного валу коробки Vario і подальшого їхнього об'єднання на підсумковому. Поділ потоку потужності здійснюється за допомогою планетарної передачі. Особливістю є те, що за невеликої швидкості руху трактора основний потік потужності передається через гідравлічну частину системи, а коли швидкість

трактора починає зростати, механічна частина системи передає більшу частину потужності порівняно з гідравлічною. Якщо швидкість трактора перевищує 30 км/год, передача потоку потужності здійснюватиметься тільки за допомогою механічної ланки коробки [3-4]. Така трансмісія забезпечує поліпшення умов праці оператора (відсутня необхідність роз'єднувати трансмісію за допомогою муфти зчеплення і вручну перемикає передачі), підвищення транспортної швидкості трактора до 60 км/год і зниження питомої витрати палива.



Рис. 1.1. Автоматична коробка передач Automatic PowerShift:

Для поліпшення тягово-зчіпних властивостей за важких умов руху сільськогосподарські трактори оснащують переднім ведучим мостом, який підключають примусово або автоматично. Для унеможливлення буксування ведучих коліс трактори оснащують системою автоматичного блокування міжколісного диференціала (MTЗ-80 і модифікації) або диференціалом вільного ходу. Водночас Versatile виробник не використовує будь-яких блокувань диференціала, тому що досвід експлуатації цих машин показує, що за умови їх грамотного баластування забезпечується достатня прохідність завдяки використанню зчіпної ваги трактора.

До безступінчастої трансмісії також належать електромеханічні трансмісії. Їхня поява була результатом послідовних багаторічних досліджень і вишукувань способів заміни традиційних видів палива, які використовуються в ДВЗ, на екологічніший спосіб приведення машин у рух. Крім того, винайдені електротрактори мали не менш значущі позитивні властивості, до яких відносяться високі тягові якості, простота пуску і обслуговування [2].

Інтенсивний розвиток електростанцій на відновлюваних ресурсах, поява різноманітних сучасних електронних систем керування, поява електродвигунів із високим ККД та енергетичними можливостями роботи на критичних значеннях частот обертання сприяли розробці електротракторів із можливістю роботи протягом робочої зміни без дозаправлення. Електротрактори (рис. 1.2) типу «Білорусь-3023» фірми МТЗ і «Multi Tool Trac», розроблений у Голландії, приводяться в рух електродвигунами, що мають силову потужність 170 кВт.



а)



б)

Рис. 1.2. Електротрактори а) «Білорусь-3023» фірми МТЗ, б) «Multi Tool Trac» фірми Voessenkool

Прикладом удосконалення тракторів у напрямі модернізації ходової частини можуть слугувати зарубіжні фірми Caterpillar і Buhler, що випускають гусеничні трактори із застосуванням гумовотросових гусениць (рис. 1.3). Застосування цієї конструкції дає змогу підвищити максимальну швидкість руху

трактора до 40 км/год, а також, користуючись можливістю зміни ширини колії гусениці, можна забезпечити збільшення річного завантаження трактора під час виконання різних сільськогосподарських операцій.

У зв'язку зі своїми особливостями, цей вид гусениць потребує застосування основної робочої гідросистеми трактора для підживлення натяжного гідроциліндра гусениці, яка перебуває під великим натягом у 110 кН.



Рис. 1.3. Трактор Buhler з гумотросовою гусеницею.

До вдосконалення ходової частини можна віднести такий спосіб зниження буксування і зменшення впливу на ґрунт, як застосування широкопрофільних шин, здвоювання і зстроювання коліс (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Трактор зі здвоєними колесами

Для раціонального використання енергонасичених тракторів в експлуатації з ґрунтообробними агрегатами, окрім розрахунку повного завантаження двигуна і комплектування тракторів здвоєними колесами, необхідно використовувати

баластування, яке за умови правильного розрахунку може збільшити продуктивність агрегату до 2,0 % і зниження буксування на 3-4 %.

Деякі навісні системи тракторів можуть бути забезпечені пристроєм, який дає змогу довантажувати ведучі колеса трактора для поліпшення зчіпних властивостей із ґрунтом. У гідросистемі трактора встановлюється так званий гідрозбільшувач зчіпної ваги з гідроакумулятором, що дає змогу використовувати частину ваги навісного знаряддя як зчіпну вагу.

Крім того, поліпшення опорної прохідності трактора можна здійснити за рахунок обладнання ходової частини додатковим ведучим мостом. Під час виконання основних сільськогосподарських операцій, а також під час переїздів, центр ваги машини переноситься здебільшого на ведучий міст, тим самим прагнучи перевернути трактор відносно точки зіткнення колеса з ґрунтом, унаслідок чого виникають додаткові техногенні впливи на ґрунт. Вважається, що додавши в ходову частину додатковий ведучий міст, можна поліпшити тягово-зчіпні властивості трактора.

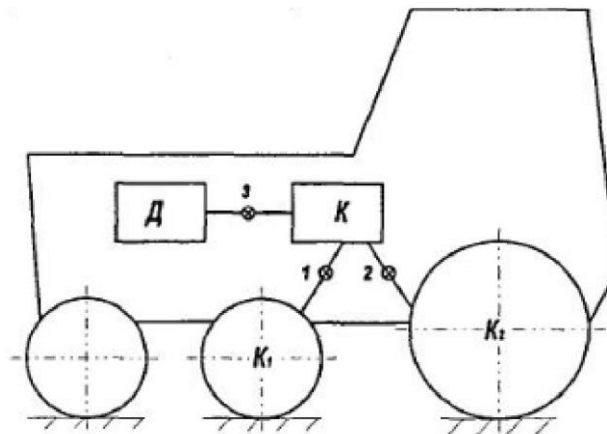


Рис. 1.5. Схема трактора з додатковим ведучим мостом. Д – двигун; К – коробка передач; K_1 – додатковий ведучий міст; K_2 – основний ведучий міст; 1,2,3 – потоки потужності.

Справжня схема встановлення додаткового моста, крім зменшення тиску на ґрунт, дає змогу збільшити силу тяги на гаку, за рахунок перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора.

На збільшення потужностних параметрів дизелів великий вплив зробив уперше комерційно застосований у 1925 році спосіб наддуву, що полягає у збільшенні кількості повітря, яке надходить у циліндри двигуна. Здійснюється процес наддуву за допомогою установки турбокомпресора. Застосуванням наддуву вдавалося збільшити вихідну потужність більш ніж на 40%.

Більшого поширення набув так званий «газотурбінний наддув» або «турбонаддув», за якого привід компресора забезпечується завдяки використанню енергії відпрацьованих газів. Механічний же наддув має компресор із механічним приводом. Нині дедалі більше двигунів оснащуються системами штучного збільшення кількості повітря, що подається в циліндри.

Вихлопні гази, надходячи з колектора, чинять вплив на лопатки турбінного колеса 7, яке жорстко з'єднане за допомогою вала 11 з ротором насосного колеса 2. Насосне колесо нагнітає повітря під тиском у впускний колектор [7-9].

Для досягнення максимальної потужності двигуна під час проектування потрібно враховувати, що підвищення частоти обертання колінчастого вала спричиняє необхідність у перекритті клапанів поблизу верхньої мертвої точки в.м.т. Цього можна досягти регулюваннями газорозподільного механізму і точним встановленням фаз газорозподілу. Але за малих обертів колінчастого вала, кут перекриття необхідно відрегулювати у зворотний бік, наближаючи його до нуля. Для автоматичного регулювання цього перекриття на різних режимах роботи двигуна існують різні пристрої, що забезпечують можливість зміни фаз газорозподілу [5].

Іншим напрямком удосконалення тракторних дизелів є вдосконалення паливних систем. Через висунуті екологічними та іншими нормативами вимоги до паливних систем утворилося безліч гілок їхнього розвитку та видозміни, на основі конструктивних відмінностей і способів подачі та розпилювання палива.

Нині на більшості дизельних двигунів використовується система акумульованої паливоподачі. Система, розроблена фірмою Bosch, називається «Common Rail» (англ. - спільна магістраль). Система відрізняється від

традиційної паливної системи наявністю розподільної рампки (акумуляючого резервуара) і блока керування, що дає сигнал для відкриття форсунки, тобто систему, що зберігає робочий тиск у межах 150-250 МПа, який забезпечується насосом високого тиску [1-4].

Тракторні дизелі порівняно легко пристосувати до роботи на рослинних оліях і сумішевих рослинно-мінеральних паливах. В умовах підвищення цін на нафтопродукти підприємства АПК, які вирощують олійні культури (ріпак, сафлор, арахіс, ріжій, гірчицю тощо) здатні самостійно забезпечити себе поновлюваним та екологічно безпечним альтернативним паливом, яке в умовах господарства обходитиметься за собівартістю, що є економічно вигідним.

Особливістю дизельних сумішевих палив (ДСП), приготованих на основі олій рослинного походження, є значна відмінність їхніх фізико-хімічних властивостей від властивостей мінерального палива. Більш високі в'язкість і густина значною мірою впливають на якість розпилювання пального форсунками, що вносить суттєві зміни в перебіг робочого процесу в циліндрах дизеля.

Поряд із цим, паливо для дизельних ДВЗ має відповідати певним вимогам, зумовленим особливостями роботи паливної апаратури. Цим вимогам мають відповідати й альтернативні палива, тобто мати відповідні низькотемпературні, протизносні, протикорозійні та інші важливі експлуатаційні властивості.

Зі світового досвіду використання біопалив на основі рослинних олій відомі такі види альтернативних моторних палив для автотракторних дизелів [5-7]:

- натуральна технічна рослинна олія - «олія, виготовлена з олійних культур шляхом пресування, віджиму або аналогічних процедур, рафінована або нерафінована, хімічно не модифікована, з нижчою теплотою згоряння 35-37 МДж/кг залежно від жирно-кислотного складу»;

- біодизельне паливо (біодизель) - «складний ефір жирних кислот рослинної олії» з нижчою теплотою згоряння 37,1-37,4 МДж/кг, який отримують

шляхом переетерифікації рослинних олій, та який володіє властивостями, близькими до властивостей мінерального дизельного палива, що дає змогу використовувати його як моторне паливо в дизелях без істотної конструктивної адаптації;

- змішане рослинно-нафтове паливо (дизельне змішане паливо) - «бінарне паливо, що готується шляхом змішування мінерального дизельного палива і рослинної олії, з нижчою теплотою згорання 37-42 МДж/кг» [5-7]. Ці компоненти добре змішуються, а сумішеве рослинно-мінеральне паливо має фізико-хімічні та теплотворні властивості, близькі до властивостей мінерального дизельного палива, що дає змогу використовувати їх у дизельному двигуні з незначними конструктивними змінами.

Спосіб двофазного сумішоутворення спочатку застосовували в 1930-1940-х роках для форсування авіаційних, суднових і танкових дизелів. Надалі цей спосіб стали розглядати як перспективний метод поліпшення експлуатаційних показників автотракторної, зокрема сільськогосподарської техніки.

Як активатор, що подається в першій фазі сумішоутворення, можна використовувати як традиційне дизельне паливо, так і інші види моторних палив (бензин, гас тощо), зокрема альтернативні паливні матеріали, а також будь-які інші легко випаровувані рідкі вуглеводні.

У роботі [3] проводилися дослідження суднових дизельних двигунів з вихровою і з нерозділеною камерою згорання (КС). У першій фазі сумішообмінника подавалося 20% дизельного палива від величини загальної циклової подачі палива. У результаті проведених досліджень було виявлено, що дизелі з двофазним сумішоутворенням розвивають у середньому на 10% більшу ефективну потужність, порівнюючи із серійним дизелем. Середній індикаторний тиск збільшився у дизеля з вихровою КС на 6,4%, у дизеля з нерозділеною КС – на 2,2%. Питома ефективна витрата палива у дизеля з вихровою КС зменшилася на 2,9%, а у дизеля з нерозділеною КС – на 1,35%. Також відзначається зниження коефіцієнта надлишку повітря.

Висновки по розділу

Виконано аналіз відомих способів і засобів поліпшення техніко-енергетичних показників сільськогосподарських тракторів: удосконалення трансмісій, двигунів, ходової частини тощо. З аналізу випливає, що ці способи і засоби практично вичерпали свій потенціал, проте ще є резерв для подальшого підвищення ефективності використання автотракторної техніки, наприклад, методом двофазного сумішоутворення в дизелі.

Виконаний аналіз російських і зарубіжних досліджень показує, що двофазне сумішоутворення з подачею в такті впуску різних активаторів сприяє поліпшенню потужностних, паливно-економічних та екологічних показників дизеля, що, у свою чергу, може сприяти поліпшенню техніко-енергетичних показників трактора.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВНОГО АКТИВАТОРА. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Розробка електронної системи впорскування паливного активатора в першій фазі сумішоутворення

Конструктивно система живлення дизеля з двофазним сумішоутворенням (рис. 2.1) складається зі штатної паливної системи дизеля та електронної системи впорскування паливного активатора.

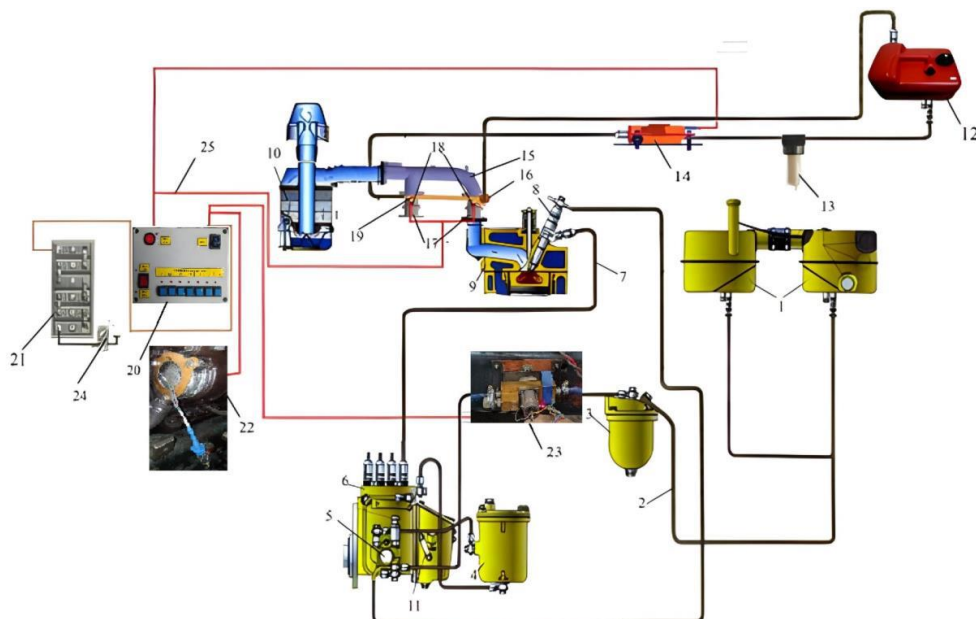


Рис. 2.1. Схема системи живлення дизеля з двофазним сумішоутворенням у дизелі: 1 – паливний бак основного палива; 2 – всмоктувальний паливопровід; 3 – фільтр-відстійник; 4 – фільтр основного моторного палива; 5 – насос низького тиску; 6 – ПНВТ; 7 – нагнітальний паливопровід; 8 – форсунка впорскування дизельного палива; 9 – головка блока циліндрів; 10 – повітроочисник; 11 – важіль регулятора частоти обертання; 12 – бак для активатора; 13 – фільтр очищення

активатора; 14 – насос електричний; 15 – впускний трубопровід; 16 – регулятор тиску; 17 – вставка-подовжувач впускного каналу; 18 – електромагнітна форсунка; 19 – рампа; 20 – мікроконтролерний блок керування; 21 – джерело живлення; 22 – датчик моменту впорскування активатора та швидкісного режиму; 23 – датчик витрати дизельного палива; 24 – вимикач маси; 25 – електричний кабель.

Свою чергою, електронна система впорскування паливного активатора (рис. 2.2) містить форсунки 1 впорскування активатора, встановлені у впускних каналах 2 дизеля, насос подачі активатора (електробензонасос) 3, мікроконтролерний блок керування (МБУ) 4, джерело живлення 5, датчик 6 витрати пального, датчик 7 моменту впорскування активатора і швидкісного режиму, паливну рампу 11, регулятор тиску 12, бак для активатора 13 і фільтр.

Блок 4, виконаний на базі програмованого мікроконтролера 8, містить двопозиційний перемикач 9, виконаний із можливістю задавати режим роботи мікроконтролеру на забезпечення двох рівнів годинного подавання активатора (10% або 20%) електромагнітною форсункою 1, а також клавіші 10 для введення в програму мікроконтролера коефіцієнта корекції годинного подавання активатора, який обирають із діапазону від 0,7 до 1,3 із кроком 0,1 залежно від в'язкості та густини подаваного активатора. Для візуального контролю заданих коефіцієнтів дози активатора і корекції годинного подавання передбачено індикаційні світлодіоди.

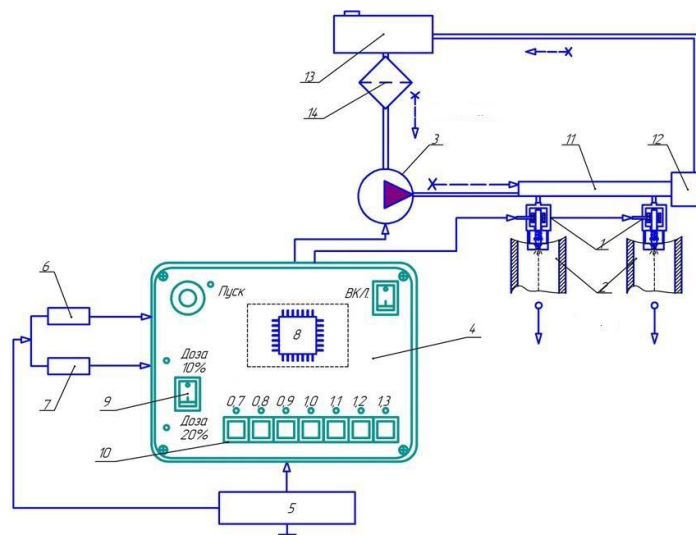
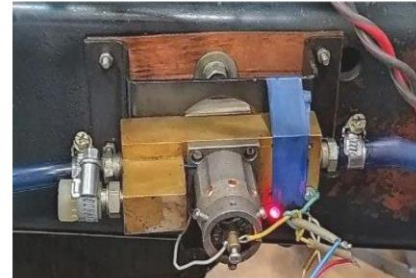


Рис. 2.2. Функціональна схема електронної системи впорскування паливного активатора (найменування позицій у тексті).

Електромагнітні форсунки встановлюють у вставках-подовжувачах, з'єднаних із гілками штатного впускного трубопроводу дизеля (рис. 2.3, а).



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.3. Елементи електронної системи розподіленого впорскування активатора: а) модернізований впускний трубопровід дизеля з рампою, електромагнітними форсунками та регулятором тиску; б) датчик масової витрати моторного пального; в) датчик моменту впорскування активатора та швидкісного режиму; г) мікроконтролерний блок керування.

Датчик витрати палива (перетворювач витрати тахометричного типу від мотор-тестера КИ-5524) використовують як датчик навантажувального режиму дизеля, він слугує для узгодження заданої дози паливного активатора, який подають у 1-й фазі сумішоутворення, та основної дози моторного дизельного палива, яке подають у 2-й фазі.

Датчик встановлюють у лінії низького тиску штатної паливної системи дизеля в розриві паливопроводу між фільтром грубого очищення і паливопідкачувальним насосом. Основними елементами датчика є вертушка, фотовипромінювач і фотоприймач. Вертушка, обертаючись під час протікання паливопроводом палива, перериває потік світла, що падає від фотовипромінювача на фотоприймач, тим частіше, чим вища годинна витрата палива. Таким чином, частота обертання пропелера, пропорційна швидкості протікання палива, перетворюється на частоту електричних імпульсів у ланцюзі фотоприймача і надсилається в МБУ.

На рис. 2.4. показано будову МБУ електронної системи впорскування паливного активатора. Основними елементами МБУ є панель керування 1, монтажні плати 3 і 4 цифрової та аналогової частин електричної схеми, програмований мікроконтролер MSP430, CAN-шини 6 і 7, електричний роз'єм 8.

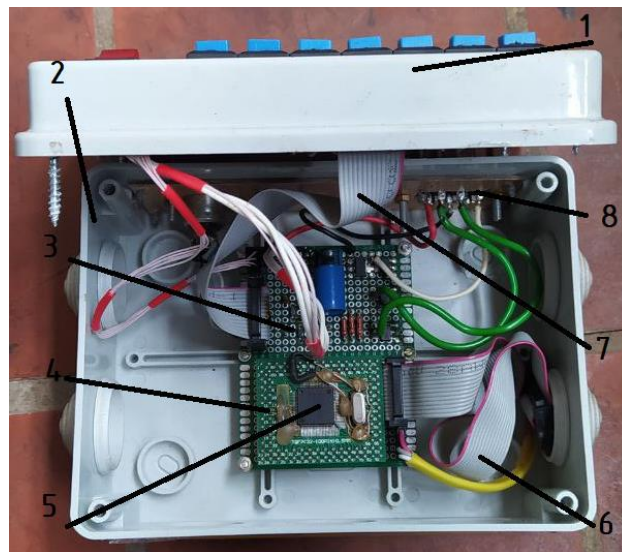


Рис. 2.4. Пристрій мікроконтролерного блока керування: 1 – панель керування; 2 – корпус; 3 – монтажна плата аналогової частини схеми; 4 – монтажна плата цифрової частини схеми; 5 – мікроконтролер MSP430; 6 – CAN-шина роз'єму для налагодження; 7 – CAN-шина панелі керування; 8 – роз'єм для датчиків і виконавчих пристроїв.

CAN-шина 6 містить налагоджувальний роз'єм, що слугує для під'єднання програматора під час прошивки мікроконтролера 5.

Роз'єм 8 слугує для під'єднання датчиків системи та виконавчих пристроїв (електричного насоса подачі активатора і форсунок впорскування активатора).

Датчик моменту впорскування активатора і швидкісного режиму служить для визначення тактів впуску в циліндрах двигуна для здійснення фазованого впорскування паливного активатора, а також використовується як датчик частоти обертання к.в. дизеля. Основними елементами датчика є неодимовий магніт 3, встановлений радіально на приводній шестерні ПНВТ, що обертається разом із нею, і магнітокерівана мікросхема 2 від датчика Холла, нерухомо закріплена на передній кришці 1 ПНВТ.

2.2 Методика лабораторних досліджень системи двофазного сумішоутворення в дизелі

Для перевірки працездатності МБУ і загалом системи впорскування паливного активатора скомплектовано лабораторну установку (мал. 4.1), яка містить джерело живлення 1, ємність 2 для активатора з розміщеним усередині електричним насосом 7, рампу 3, електромагнітні форсунки 4, мірні колби 5, мікроконтролерний блок керування, частотомір 8 і світлопроменевий осцилограф 9 [7-9]. Для імітації імпульсних сигналів, що надходять із датчиків, було розроблено двоканальний генератор імпульсів 10.

За оцінний показник працездатності системи було прийнято величину годинної подачі активатора. Як активатор використовували товарне нафтове дизельне паливо ДТ-Л-62-К5 [10] і спирт етиловий 95-вий [1].

Перевірку працездатності системи двофазного сумішоутворення в дизелі проводили в такій послідовності.

За допомогою підлаштування резисторів, що входять до складу генератора імпульсів 10, встановлювали частоти, що відповідають частотам інформативних сигналів датчиків на певному навантажувально-швидкісному режимі дизеля Д-243. Величини частот контролювали за допомогою частотоміра 8.

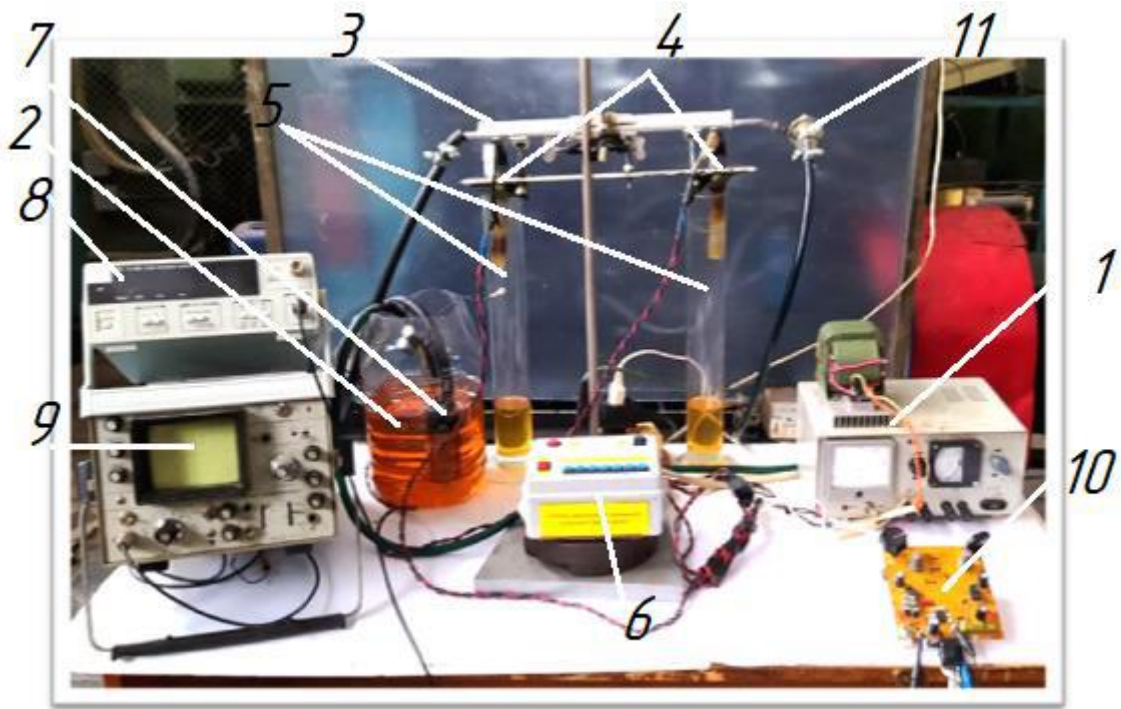


Рис. 2.5. Експериментальна установка для лабораторних досліджень системи двофазного сумішоутворення: 1 – джерело живлення; 2 – ємність з активатором; 3 – рампа; 4 – електромагнітні форсунки; 5 – мірні колби; 6 - мікроконтролерний блок керування; 7 – електричний насос; 8 – частотомір FC-3000; 9 – електронно-променевий осцилограф С1-72; 10 – генератор імпульсів

Перемикачем на панелі мікроконтролерного блока 6 встановлювали необхідну дозу активатора (10 % або 20 % від годинної витрати моторного палива). Перед початком замірів за допомогою електричного насоса 7 здійснювали заповнення рампи 3 активатором. Вмикали подачу напруги в ланцюзі електромагнітних форсунок, що здійснювали впорскування активатора в мірні колби. Секундоміром засікали час, за який у колби надійде кількість активатора, що дорівнює 400 мл. Одночасно контролювали тривалість керуючих імпульсів, що надходять на електромагнітні форсунки, і рівномірність надходження активатора в мірні колби.

Заміри здійснювали в триразовій повторності, а отримані результати заносили в протокол випробувань. Потім за допомогою генератора імпульсів встановлювали частоти, що імітують інший навантажувально-швидкісний режим дизеля, і повторювали цикл замірів.

Для стендових досліджень дизеля з двофазним сумішоутворенням було скомплектовано експериментальну установку (рис. 2.6), яка містила динамометричну машину KS-56/4 з контрольно-вимірною апаратурою, тракторний дизель Д-243-648, оснащений розробленою системою двофазного сумішоутворення [2-4], та вимірною-реєстраційний комплекс (ВРК).

До складу ІРК входили: витратоміри моторного палива й активатора, вимірний пристрій ІМД-ЦМ, частотомір FC-3000, вимірники температури палива, активатора, моторного мастила та охолоджувальної рідини, тахометр, газоаналізатор ГИАМ-29-М3 (рис. 2.7).

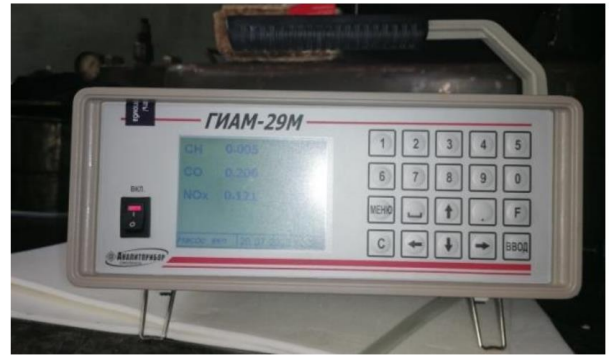
Як активатори використовували нафтове дизельне паливо ДТ-Л-62-К5, сумішеве дизельне паливо (50% ріпакової олії + 50% нафтового ДТ), 95%-вий етиловий спирт, бензин АІ-92 і бензол Е30 (спирто-бензинове сумішеве паливо з об'ємним вмістом етилового спирту 30%) [1-4]. Доза активатора, що подається в першій фазі сумішообробки, становила 10% і 20% від годинної витрати моторного дизельного пального, що подається в другій фазі.



Рис. 2.6. Загальний вигляд експериментальної моторної установки



а)



б)

Рис. 2.6. Обладнання для експериментальних досліджень: оснащений системою розподіленого впорскування активатора; а) пристрій ІМД-ЦМ; б) газоаналізатор ГИАМ-29-МЗ;

За метод дослідження було прийнято метод порівняльної оцінки потужностних, паливно-економічних та екологічних показників тракторного дизеля з типовим (однофазним) та експериментальним (двофазним) сумішоутворенням.

В умовах характеристики холостого ходу оцінювалися такі показники дизеля: годинна витрата моторного пального, активатора та сукупного пального, вміст оксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту.

2.3 Методика тягових випробувань трактора з двофазним сумішоутворенням у дизелі

Методика досліджень передбачала визначення тягово-економічних та екологічних показників за ДСТУ [6] трактора МТЗ-82 з дизелем Д-243, укомплектованим паливним насосом 4УТНМ (рис. 2.7), під час роботи з двофазним сумішоутворенням.

У лабораторних тягових випробуваннях використовували такі прилади й устаткування: стенд для колісних тракторів КІ-8948, до складу якого входять приводний блок (електромашини АКБ-92-8М і редуктор Ц2УН-315) із двома барабанами, рідинний реостат навантаження, пульт керування,

довантажувальний пристрій; витратоміри моторного палива й активатора; система відведення відпрацьованих газів; термометр (для вимірювання температури повітря); барометр (для вимірювання атмосферного тиску).



Рис. 2.7. Експериментальна установка для тягових випробувань трактора з двофазним сумішоутворенням у дизелі на стенді з біговими барабанами: а) вимірювальний комплекс; б) елементи електронної системи розподіленого впорскування паливного активатора; в) загальний вигляд експериментальної установки; 1 – витратомір активатора; 2 – електронні ваги; 3 – МБУ; 4 – частотомір; 5 – прилад ЕМДП; 6 – модернізований впускний трубопровід; 7 – паливна рампа; 8 – фільтр тонкого очищення активатора; 9 – датчик моменту впорскування активатора і швидкісного режиму; 10 – витратомір моторного пального; 11 – ємність моторного пального; 12 – панель стенда КІ-8948; 13 – рідинний реостат навантаження; 14 – газоаналізатор ГІАМ-29-М3; 15 – бігові барабани.

Запуск двигуна та його прогрівання з однофазним сумішоутворенням здійснювався на режимах, рекомендованих у нормативно-технічній документації на проведення тягових випробувань трактора [6].

На гальмівному стенді тягову характеристику трактора знімали на одній з основних (робочих) передач - на восьмій. Про ступінь завантаження двигуна судили за показанням тахометра трактора або стенда. Випробування починали з режиму холостого ходу (навантаження на колесах було відсутнє) і поступово збільшували навантаження опусканням електродів реостата в розчин кальцинованої соди. Число дослідів (ступенів завантаження трактора) встановлювали не менше 10-12. Зняття параметрів у кожному досліді проводили при сталому навантаженні після закінчення 5 хв. роботи дизеля.

2.4 Методика експлуатаційних досліджень трактора з двофазним сумішоутворенням у дизелі

Дослідження трактора у складі орного агрегату (рис. 2.8) проводили в умовах дослідних загонок поля на оранці зябу в експлуатаційних умовах ТОВ «Полісся» Коростенського району Житомирської області.

За оціночні експлуатаційні показники трактора у складі МТА було прийнято: робочу швидкість, годинну продуктивність МТА, погектарну витрату пального, експлуатаційну потужність, питому ефективну витрату енергії на к.в. дизеля МТА [147].

Під час проведення експлуатаційних досліджень трактор агрегувався з трикорпусним плугом ПЛН-3-35 для зяблевої оранки з глибиною обробітку ґрунту 20-22 см. Довжина дослідних загонок замірялася сажнем. До і після оранки контрольної ділянки в баках заміряли об'єм витраченого моторного палива і активатора (бензанола Е30).



а)



б)

в)

Рис. 4.7. Експериментальна установка для експлуатаційних досліджень трактора у складі МТА: а) загальний вигляд МТА; б) 1 – бак для активатора; 2 – впускний трубопровід зі вставками, паливною рампою, електромагнітними форсунками та регулятором тиску; 3 – датчик витрати пального; 4 – датчик моменту впорскування активатора та швидкісного режиму; в) мікроконтролерний блок керування

Висновки по розділу

1. Програма досліджень включала лабораторні дослідження системи двофазного сумішоутворення, стендові дослідження дизеля і трактора, експлуатаційні дослідження трактора у складі МТА з двофазним сумішоутворенням.

2. Лабораторні дослідження системи двофазного сумішоутворення проводили з метою перевірки працездатності системи на відповідність годинної

подачі паливного активатора, що подається в 1-й фазі сумішоутворення, заданій дозі активатора 10 % або 20 % від годинної подачі моторного дизельного палива, яке подається в 2-й фазі сумішоутворення.

3. Стендові дослідження тракторного дизеля передбачали оцінку його потужностних, паливно-економічних та екологічних показників із двофазним сумішоутворенням.

4. Стендові дослідження трактора передбачали оцінку його тягово-економічних та екологічних показників із двофазним сумішоутворенням у дизелі.

5. Експлуатаційні дослідження трактора у складі МТА передбачали оцінку його техніко-енергетичних показників у виробничих умовах.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати лабораторних досліджень системи двофазного сумішоутворення в дизелі.

За результатами перевірки працездатності розробленої системи розподіленого впорскування активатора в першій фазі сумішоутворення будували графічні залежності годинної подачі активатора ГТА (кг/год) залежно від частоти обертання колінчастого валу двигуна на режимах повних навантажень, часткових навантажень і холостого ходу. Отримані графіки представлено на рис. 3.1 – 3.12.

Отримані фактичні значення годинної подачі активатора за заданих доз 10% і 20% (показані на малюнках суцільними лініями) порівнювали з розрахунковими значеннями (показані на рис. штриховими лініями).

З аналізу рис. 3.1 – 3.2 і 3.7 – 3.8 випливає, що на режимах великих навантажень (80-100 % від номінального) забезпечується висока точність дозування активатора, оскільки фактичні значення годинної подачі активатора практично повністю відповідають значенням, отриманим розрахунковим шляхом.

Також, у результаті досліджень було встановлено, що при подачі як активатора 10 %-ної дози дизельного палива слід вводити коефіцієнт корекції 1,1, а при подачі 20 %-ної дози – коефіцієнт 1,0.

Під час подавання як активатора 10 %-ної дози етилового спирту слід вводити коефіцієнт корекції 1,0, а під час подавання 20 %-ної дози – коефіцієнт 0,9.

На режимах середніх навантажень (40-60 % від номінального навантаження) спостерігалось деяке відхилення фактичної подачі активатора від розрахункової (рис. 3.3 – 3.4 і 3.9 – 3.10). Однак, похибка дозування активатора перебуває в допустимих межах.

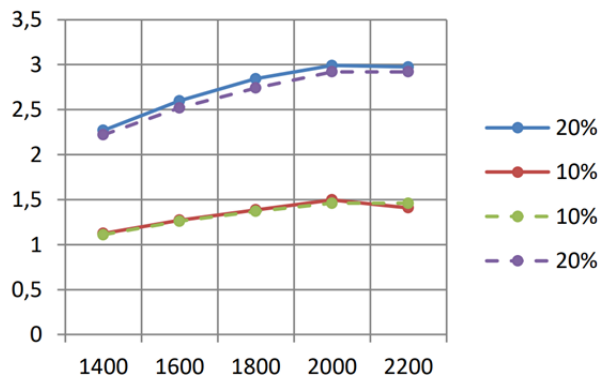


Рис. 3.1. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) за повного навантаження.

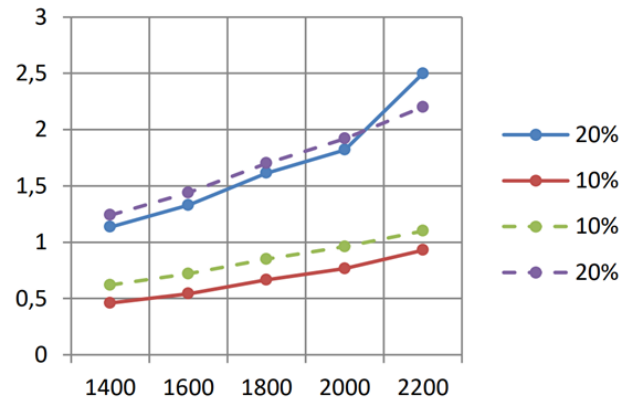


Рис. 3.2. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) за навантаження 80% від номінального.

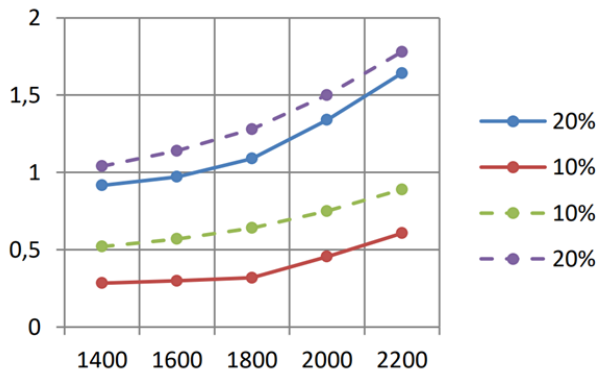


Рис. 3.3. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 60% від номінального.

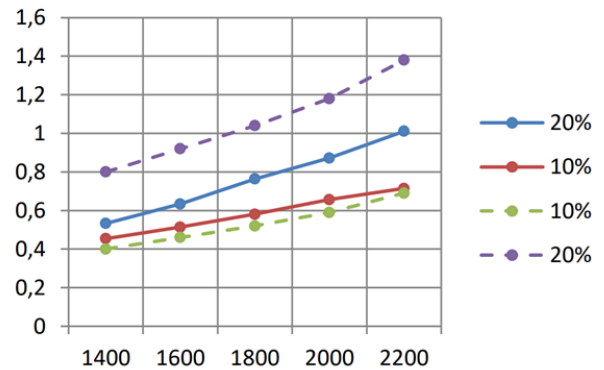


Рис. 3.4. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного пального) при навантаженні 40% від номінального.

На режимі малих навантажень (20 % від номінального) і режимі холостого ходу виявилось, що електромагнітні форсунки не здатні забезпечити потрібне подавання активатора, оскільки вони не розраховані на такі малі значення тривалості керівних імпульсів. За тривалості імпульсу менше ніж 0,5 мс форсунки не впорскували активатор через інерційність спрацьовування електромагнітного виконавчого механізму.

Щоб усунути цей недолік, подачу активатора на цих режимах довелося «усереднити», шляхом додавання в програму мікроконтролера МБУ умови, що забезпечує фіксовану тривалість уприскування не менше 0,6 мс. У результаті, за

20 %-го навантаження на двигун забезпечується фактична доза активатора 15 %, а на режимі холостого ходу - доза 20 % (рис. 3.5 – 3.6 і 3.11 – 3.12).

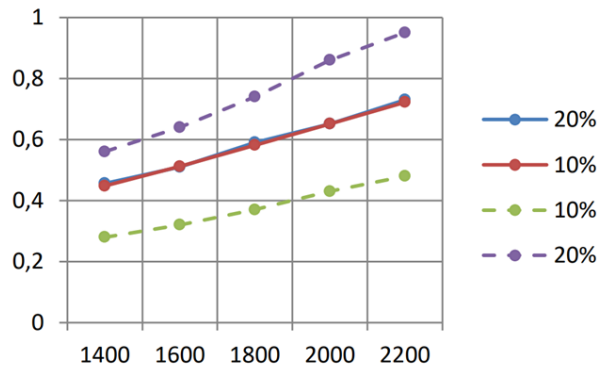


Рис. 3.5. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 20% від номінального.

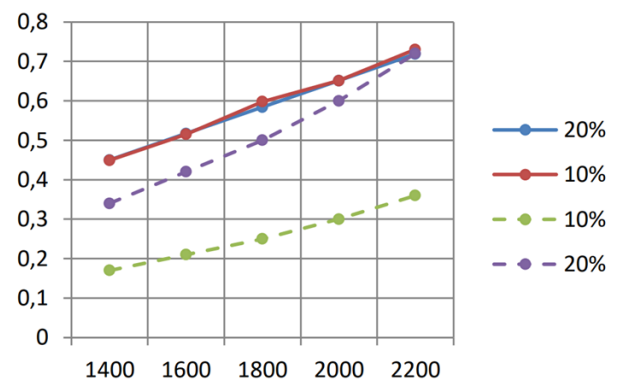


Рис. 3.6. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) на холостому ходу.

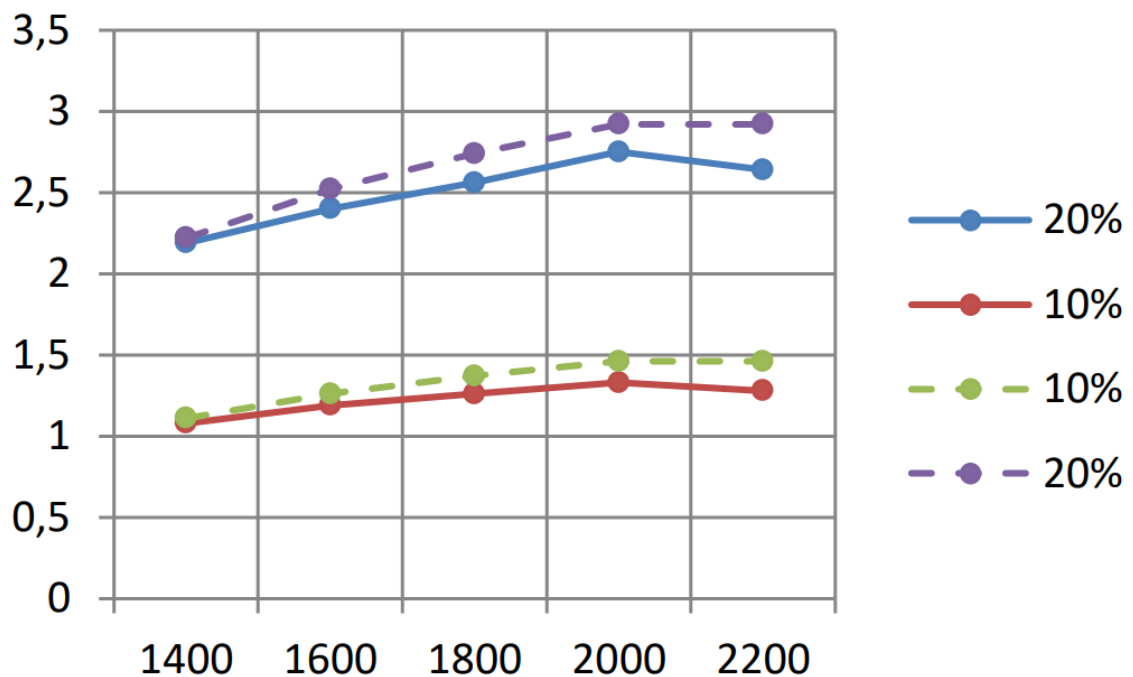


Рис. 3.7. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при повному навантаженні.

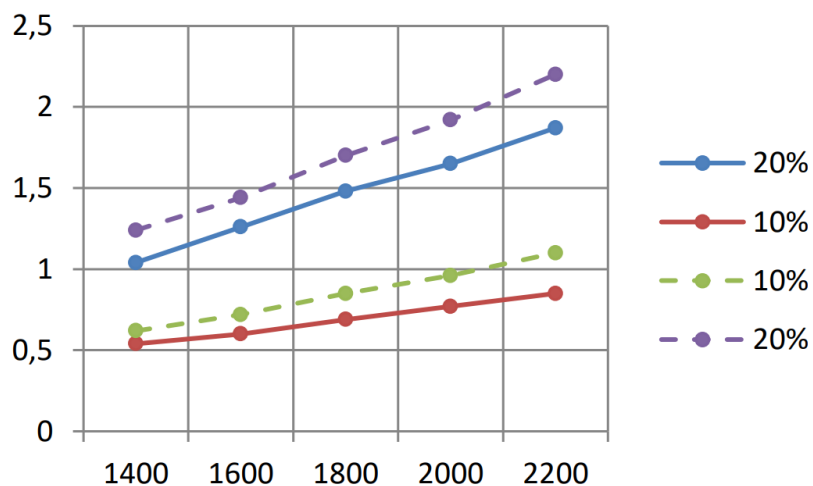


Рис. 3.8. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 80% від номінального.

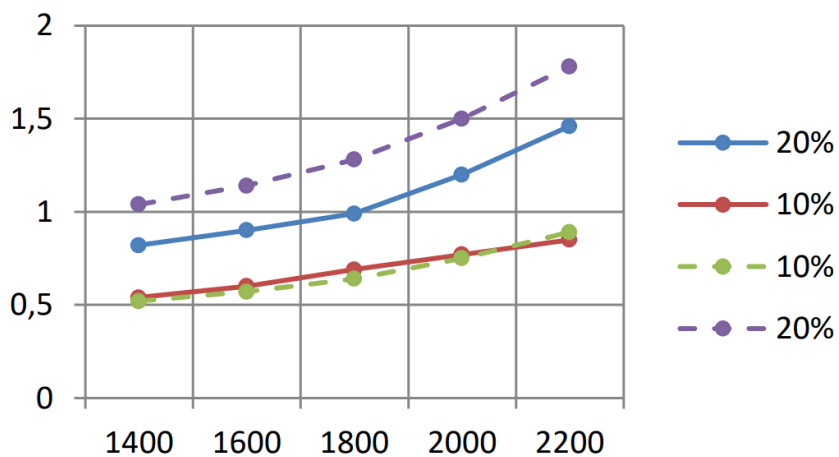


Рис. 3.9. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 60% від номінального

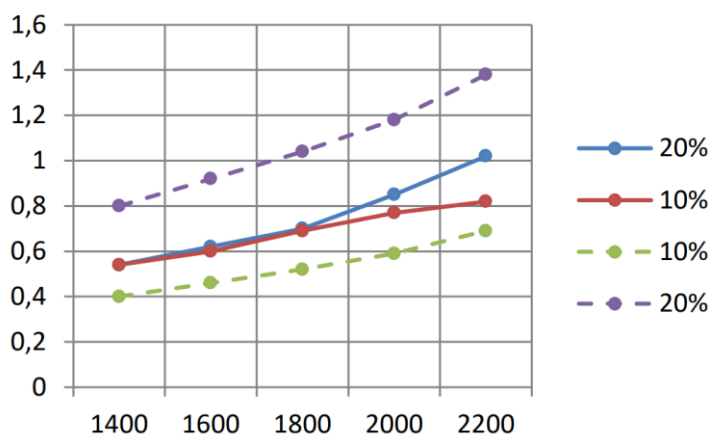


Рис. 3.10. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 40% від номінального

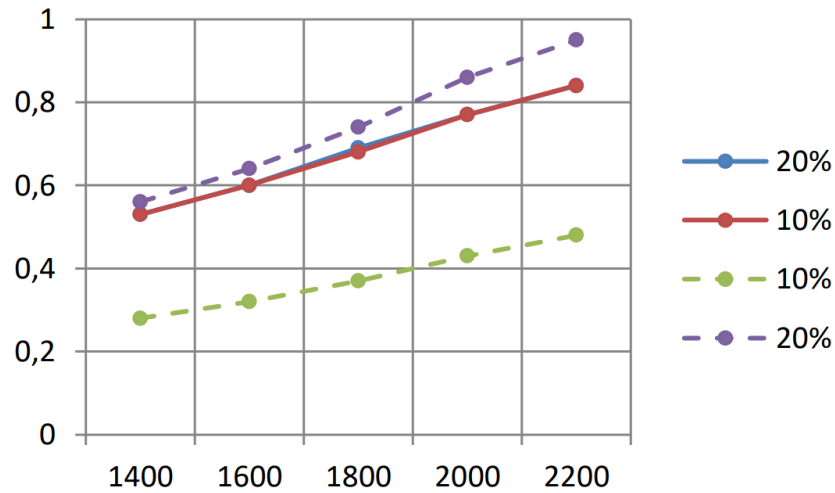


Рис. 3.11. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 20% від номінального.

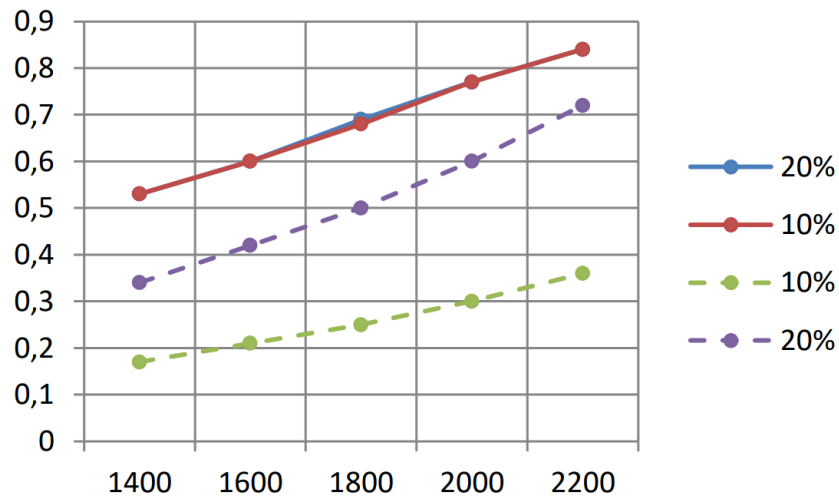


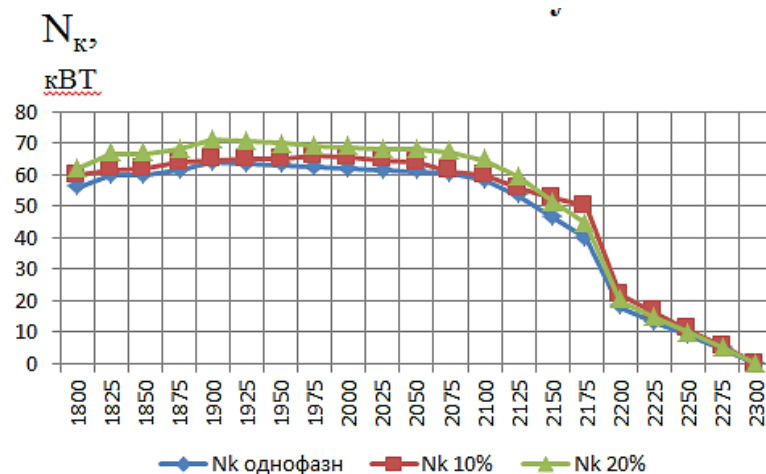
Рис. 3.12. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) на холостому ходу.

Результати стендових досліджень дизеля показують, що двофазне сумішоутворення з подачею 10%-ної дози активатора сприяє підвищенню ефективної потужності N_e дизеля на 7-10 %, з подачею 20%-ної дози - на 11-16 % залежно від виду активатора. Найсуттєвіше підвищення ефективної потужності дизеля досягається під час подавання як активатора бензину АІ-92, бензанолу Е30, етилового спирту і нафтового дизельного палива.

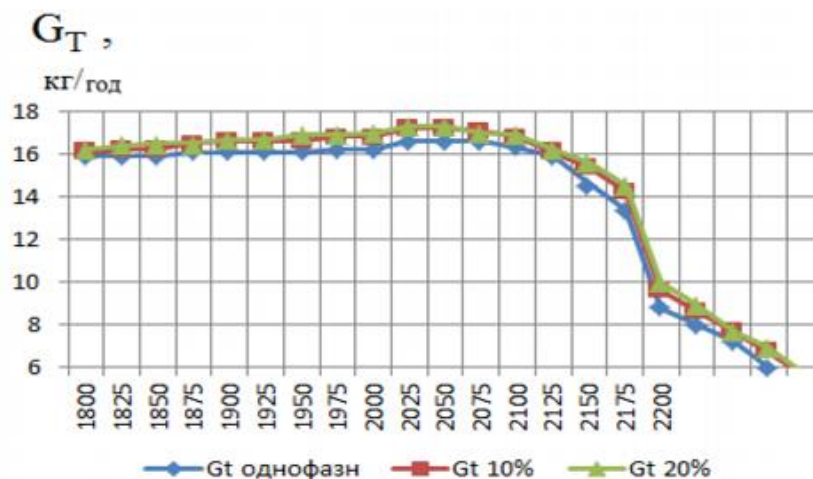
3.2. Результати стендових досліджень трактора з двофазним сумішоутворенням у дизелі

За результатами порівняльних стендових досліджень трактора на бігових барабанах було побудовано його тягову характеристику (графічна залежність тягово-економічних показників трактора від дотичної сили тяги P_k) з однофазним і двофазним сумішоутворенням

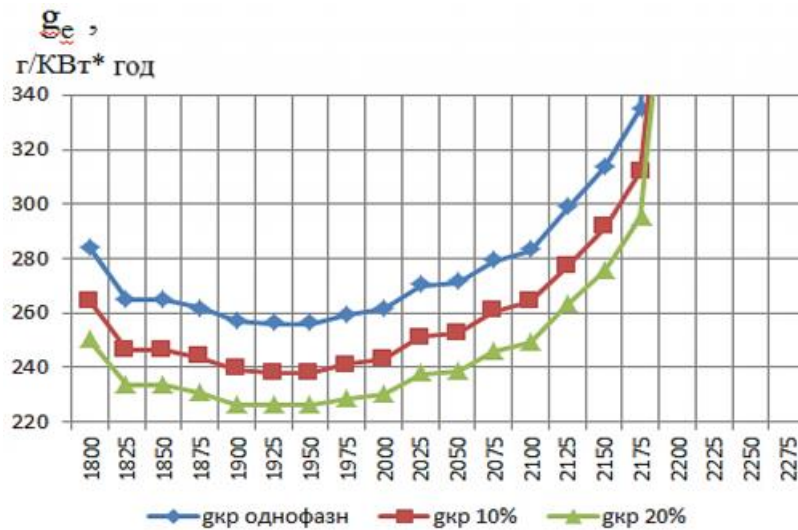
Тягова потужність (рис. 3.13, а) підвищується в середньому на 7 % і 11 %, питома витрата палива (рис. 3.13, в) знижується в середньому на 7 % і 12 % відповідно. Вміст оксидів азоту (рис. 3.13, г) у відпрацьованих газах знижується на 6-12 % за високих навантажень і на 35-40 % - за малих навантажень, що супроводжується деяким збільшенням CO і CH.



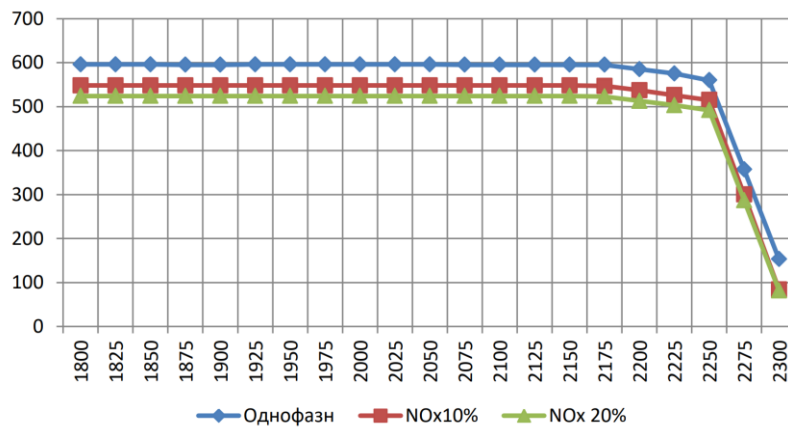
а) тягова потужність



б) годинна витрата сукупного палива



в) питома витрата палива



г) вміст оксидів азоту в ВГ

Рис. 3.13. Показники трактора МТЗ-82 в умовах тягової характеристики: а) тягова потужність; б) питома витрата палива; в) вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Таким чином, отримані результати досліджень свідчать про те, що двофазне сумішоутворення в дизелі суттєво впливає на тягово-економічні та екологічні показники трактора порівняно з однофазним сумішоутворенням.

3.4 Результати експлуатаційних досліджень трактора

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА свідчать, що за двофазного сумішоутворення з подачею 10%-вої та 20%-вої дози активатора (бензанолу Е30) експлуатаційна потужність трактора

(рис. 3.14, а) збільшується відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА (рис. 3.14, б) підвищується на 8 % і 14 %, гектарна витрата пального (рис. 3.14, в) знижується на 6 % і 9 %, питома ефективна витрата енергії на к.в. дизеля зменшується на 2 % і 4 %.

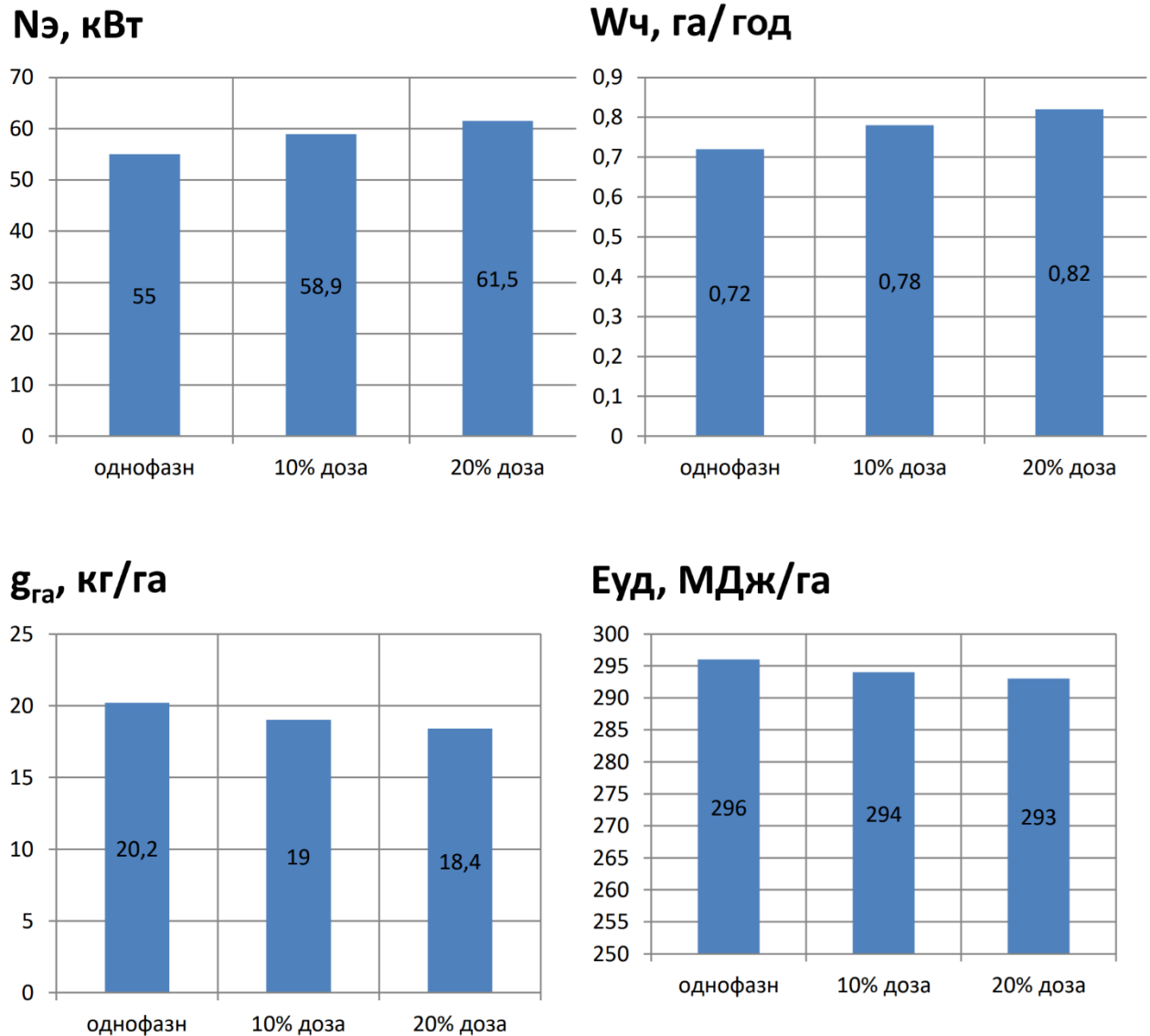


Рис. 3.14. Техніко-енергетичні показники трактора МТЗ-80.1 у складі орного МТА.

Висновки по розділу

Результати лабораторних досліджень показують, що розроблена система двофазного сумішоутворення в дизелі забезпечує високу точність подачі паливного активатора, при цьому задана доза активатора узгоджена з витратою витрат моторного палива.

Аналіз тягової характеристики, отриманої за результатами стендових досліджень трактора, показує, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% дози активатора (бензанолу Е30) дотична сила тяги збільшується на 5 %, з подачею 20% дози – на 9 % порівняно з роботою трактора у штатній комплектації з однофазним сумішоутворенням. При цьому тягова потужність підвищується в середньому на 7 % та 11 %, питома витрата палива знижується в середньому на 7 % та 12 % відповідно. Вміст оксидів азоту в газах, що відпрацювали, знижується на 6-12 % при високих навантаженнях і на 35-40 % - при малих навантаженнях, що супроводжується деяким збільшенням оксиду вуглецю і вуглеводнів.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА показують, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% і 20% дози активатора (бензанолу Е30) експлуатаційна потужність трактора збільшується відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % та 14 %, погектарна витрата палива знижується на 6% та 9%, питома ефективна витрата енергії на к.в. дизеля зменшується на 2% та 4%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено та виготовлено дослідно-конструкторський зразок електронної системи упорскування паливного активатора, що встановлюється у штатну систему живлення тракторного дизеля з механічним керуванням паливоподачею. Електронна система упорскування паливного активатора виконана на базі мікроконтролерного блоку управління, який містить двопозиційний перемикач, сконструйований з можливістю задавати режим роботи мікроконтролера на забезпечення двох кількісних рівнів годинної подачі активатора (10% або 20%) електромагнітними форсунками, а також клавіші для введення в програму мікроконтролера коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, що вибирається з діапазону від 0,7 до 1,3 з кроком 0,1 залежно від в'язкості і щільності активатора, що подається.

Результати лабораторних досліджень показують, що розроблена система електронного упорскування паливного активатора забезпечує високу точність дозованої подачі паливного активатора, при цьому задана доза активатора узгоджена з масовою витратою палива.

Результати стендових досліджень трактора показують, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% дози бензолу E30 дотична сила тяги збільшується на 5%, з подачею 20% дози – на 9% порівняно з роботою трактора в штатній комплектації з однофазним сумішоутворенням. При цьому тягова потужність підвищується на 7 % і 11 %, питома витрата палива знижується на 7 % і 12 % відповідно при подачі 10% та 20% дози.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА показують, що при двофазному сумішоутворенні з подачею 10% та 20% дози бензолу E30 експлуатаційна потужність трактора збільшується відповідно на 7 % та 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % та 14 %, погектарна витрата палива знижується на 6 % та 9 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березовський М. П., Степанюк І. В. Дизельні двигуни тракторів: конструкція, робота та удосконалення. Київ: Агроосвіта, 2018. 305 с.
2. Бурка І. В. Ефективність сільськогосподарської техніки. Львів: Афіша, 2020. 250 с.
3. Долгополов М. А., Гончаренко А. В. Енергетичні показники дизельних двигунів тракторів. Харків: ХНТУСГ, 2019. 312 с.
4. Коломієць О. І. Сучасні методи підвищення ефективності роботи дизельних тракторів. Вінниця: Нова книга, 2021. 289 с.
5. Мельник А. П., Сміт Б. О. Технічне обслуговування та ремонт двигунів. Київ: Ліра-К, 2017. 235 с.
6. Петров С. В., Войтенко Ю. М. Дослідження процесів сумішоутворення у дизелях. Одеса: Наука і техніка, 2021. 272 с.
7. Рибалко В. М. Основи технічної експлуатації тракторів. Житомир: Полісся, 2018. 196 с.
8. Середюк Г. А. Двохфазне сумішоутворення у дизелях тракторів. Тернопіль: Економічна думка, 2020. 205 с.
9. Степаненко В. Г. Підвищення техніко-енергетичних характеристик тракторних дизелів. Харків: ІНЖЕК, 2019. 184 с.
10. Тарасенко П. К. Трактори та їх енергетичні показники. Київ: Аграрна освіта, 2020. 314 с.
11. Adams J. E., Bennett R. H. *Advanced Diesel Engine Systems: Principles and Performance*. New York: Springer, 2021. 324 p.
12. Burton M. *Diesel Engine Combustion Optimization*. London: Elsevier, 2018. 275 p.
13. Chang K., Lee H. *Improving Energy Efficiency in Agricultural Tractors*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. 312 p.

14. Fischer L., Gruber P. Dual-Phase Combustion in Diesel Engines. Berlin: Springer, 2020. 298 p.
15. Gupta R. K. Combustion and Emission Control in Diesel Engines. Amsterdam: Elsevier, 2021. 280 p.
16. Harrison T., Wilson J. Tractor Power and Energy Analysis. London: Routledge, 2019. 301 p.
17. Kim Y. Optimization of Diesel Engines in Agriculture. Boston: Academic Press, 2020. 245 p.
18. Larson C., Smith R. Energy Efficiency of Diesel Tractors: A Case Study. Oxford: Wiley-Blackwell, 2021. 330 p.
19. Martínez J. M., Silva L. R. Combustion and Fuel Injection Strategies in Diesel Engines. Amsterdam: Elsevier, 2020. 256 p.
20. Watanabe K., Takahashi S. Fuel Systems and Combustion for Tractors. Tokyo: Springer Japan, 2019. 290 p.
21. Дерев'янюк Д. А., Колеснев В. О. Розробка електронної системи впорскування паливного активатора в першій фазі сумішоутворення. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 290-294.
22. Дерев'янюк Д. А., Колеснев В. О. Результати лабораторних досліджень системи двофазного сумішоутворення в дизелі. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.
23. Колеснев В. О. Удосконалення ходової частини та навісної системи тракторів. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої

освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир:
Поліський національний університет, 2024. С. 17-19.