

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Диняк Олексій Вікторович

УДК 631.372 : 631.3 : 658.562

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ ТРАКТОРІВ ПІД ЧАС
ВИКОНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
ОПЕРАЦІЙ**

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

_____ Диняк О.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Диняк Олексій Вікторович. Покращення техніко-економічних показників тракторів під час виконання сільськогосподарських операцій. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

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 подачею палива. Електронна система упорскування паливного активатора виконана на базі мікроконтролерного блока керування, який містить двопозиційний перемикач, сконструйований із можливістю задавати мікроконтролеру режим роботи для забезпечення двох кількісних рівнів годинної подачі активатора (10 % або 20 %) за допомогою електромагнітних форсунок, а також клавіші для введення в програму мікроконтролера коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, що вибирається в діапазоні від 0,7 до 1,3 з кроком 0,1 залежно від в'язкості та густини поданого активатора.

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

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА свідчать, що під час двофазного сумішоутворення з подачею 10%-вої та 20%-вої дози бензанолю Е30 експлуатаційна потужність трактора зростає відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % і 14 %, погектарна витрата палива зменшується на 6 % і 9 %, а питомі ефективні витрати енергії знижуються відповідно на 2 % і 4 %.

Ключові слова: двофазне сумішоутворення, трактор, дизельне паливо, потужність, активатор, двигун.

ANNOTATION

Dyniak Oleksii Viktorovych. Improvement of the Technical and Economic Indicators of Tractors During Agricultural Operations. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

In the master's thesis, a pilot-design prototype of an electronic fuel activator injection system was developed and manufactured. This system is installed in the standard fuel supply system of a tractor diesel engine with mechanical fuel delivery control. The electronic fuel activator injection system is built on the basis of a microcontroller control unit that includes a two-position switch designed to set the operating mode of the microcontroller, ensuring two quantitative levels of hourly activator supply (10% or 20%) using electromagnetic injectors. It also contains keys for entering into the microcontroller program a correction coefficient for the hourly activator supply, selected within the range from 0.7 to 1.3 in increments of 0.1, depending on the viscosity and density of the activator.

The results of laboratory tests show that the developed electronic fuel activator injection system provides high accuracy of the metered supply, with the set dose being coordinated with the mass fuel consumption.

The results of comparative operational tests of the tractor as part of a plowing machine-tractor unit (MTU) indicate that during two-phase mixture formation with the supply of 10% and 20% doses of E30 benzanol, the operational power of the tractor increases by 7% and 12%, the productivity of the MTU rises by 8% and 14%, the fuel consumption per hectare decreases by 6% and 9%, and the specific effective energy consumption decreases by 2% and 4%, respectively.

Keywords: two-phase mixture formation, tractor, diesel fuel, power, activator, engine.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ДВОФАЗНЕ СУМІШОУТВОРЕННЯ В ДИЗЕЛІ ЯК СПОСІБ ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАКТОРА.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВНОГО АКТИВАТОРА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	35
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Значну частку енергетичних засобів в агропромисловому комплексі становлять трактори, які нині досягли певного рівня досконалості за основними техніко-енергетичними показниками. Основною енергетичною установкою сільськогосподарських тракторів є дизельні двигуни – двигуни внутрішнього згоряння з займанням від стиску та безпосереднім упорскуванням палива в камеру згоряння. В умовах, що склалися у зв'язку з вартістю постачання зарубіжної техніки, актуальним стає пошук нових способів і розробка технічних засобів для покращення потужнісних, паливно-економічних та екологічних показників тракторів українського виробництва. Досвід експлуатації таких тракторів у складі машинно-тракторних агрегатів під час виконання різноманітних сільськогосподарських робіт (оранка, культивування, боронування, сівба тощо) свідчить, що вони поступаються зарубіжним аналогам за своїми техніко-енергетичними характеристиками. Основною причиною цього є відсутність конкурентоспроможних технічних розробок, спрямованих на практичну реалізацію відомих способів, які забезпечують підвищення експлуатаційних показників сільськогосподарських тракторів.

Одним із таких ефективних способів є двофазне сумішоутворення, яке полягає у подачі у впускний трубопровід дизеля певної дози (10–20 %) дрібнорозпиленого паливного активатора (бензину, спирту, біопалива тощо) у такті впуску (1-ша фаза сумішоутворення). При цьому основна доза моторного дизельного палива (80–90 %) упорскується штатною форсункою в камеру згоряння наприкінці такту стиску (2-га фаза сумішоутворення). За такої організації робочого процесу в такті впуску відбувається формування активаторно-повітряної суміші та її надходження до циліндрів дизеля. У такті стиску ця суміш ущільнюється й утворює осередки займання, які прискорюють передполуменеву підготовку та згоряння основної дози дизельного палива. У

результаті підвищується повнота згоряння горючої суміші (паливо + активатор + повітря), зростають потужність і ККД дизеля, покращуються його паливно-економічні та екологічні показники, а отже і техніко-енергетичні характеристики трактора у складі МТА.

Таким чином, дослідження, спрямовані на покращення техніко-енергетичних показників тракторів шляхом двофазного сумішоутворення в дизелі, є актуальними та мають практичне значення для аграрного виробництва.

Метою проведених досліджень є покращення техніко-енергетичних показників сільськогосподарського трактора тягового класу 1,4 шляхом реалізації сумішоутворення в дизелі у дві фази.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких наукових **завдань**:

– 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 під час роботи дизеля в різних навантажувальних і швидкісних режимах;

– провести лабораторні дослідження системи двофазного сумішоутворення в дизелі, стендові дослідження дизеля і трактора, а також експлуатаційні дослідження колісного трактора тягового класу 1,4 з двофазним сумішоутворенням;

– визначити техніко-енергетичні показники трактора у складі орного агрегату під час роботи дизеля з двофазним сумішоутворенням.

Об'єктом дослідження є процес роботи сільськогосподарського трактора тягового класу 1,4 у складі орного агрегату під час роботи дизеля з двофазним сумішоутворенням.

Предмет дослідження: техніко-енергетичні показники колісного трактора тягового класу 1,4 у складі орного агрегату під час роботи дизеля з двофазним сумішоутворенням.

Методи наукового дослідження. Дослідження виконано з використанням основних положень експлуатації машинно-тракторного парку, теорії руху колісних машин, теорії сільськогосподарських машин та теорії двигунів внутрішнього згорання. Експериментальні дослідження виконано з використанням стандартних методів випробувань та окремих приватних методик. Як метод дослідження було прийнято метод порівняльних стендових та експлуатаційних випробувань дизеля, трактора і МТА в штатній комплектації (з однофазним сумішоутворенням) та в експериментальній комплектації (з двофазним сумішоутворенням). Розроблення системи двофазного сумішоутворення у тракторному дизелі ґрунтувалося на сучасному рівні розвитку електронних систем автоматичного керування з використанням засобів САПР КОМПАС 3D V16, IAR Embedded Workbench, Mentor Graphics PADS DxDesigner. Обробку результатів досліджень здійснювали із застосуванням програм Microsoft Excel 2013 та MathCAD 14.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Савченко В.М., **Диняк О.В.**, Заруцький С.О. Двофазне сумішоутворення в дизелі як спосіб поліпшення техніко-енергетичних показників трактора. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

2. Савченко В.М., **Диняк О.В.** Огляд відомих технічних рішень для реалізації двофазного змішування в дизелях автотракторної техніки. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 476-480.

3. **Диняк О.В.** Огляд відомих технічних рішень для реалізації двофазного змішування в дизелях автотракторної техніки. Покращення техніко-економічних показників тракторів під час виконання сільськогосподарських операцій.

Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 20-23.

Практичну значущість мають: розроблена електронна система упорскування паливного активатора, що встановлюється в штатну систему живлення тракторного дизеля та забезпечує автоматичну дозовану подачу активатора в такті впуску під час роботи дизеля в різних навантажувальних і швидкісних режимах.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки комп'ютерного тексту, містить 46 рисунків та 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1

ДВОФАЗНЕ СУМІШОУТВОРЕННЯ В ДИЗЕЛІ ЯК СПОСІБ ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАКТОРА

1.1. Двофазне сумішоутворення в дизелі як спосіб поліпшення техніко-енергетичних показників трактора

Спосіб двофазного сумішоутворення спочатку застосовували у 1930–1940-х роках для форсування авіаційних, суднових та танкових дизелів. Згодом цей спосіб почали розглядати як перспективний метод підвищення експлуатаційних показників автотракторної, у тому числі сільськогосподарської техніки. Як активатор, що подається на першій фазі сумішоутворення, може використовуватися як традиційне дизельне паливо, так і інші види моторних палив (бензин, гас тощо), у тому числі альтернативні палива, а також будь-які інші легколеткі рідкі вуглеводні.

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

Найбільш відомим і поширеним активатором для подачі в дизель на першій фазі сумішоутворення є автомобільний бензин, який являє собою найлеткішу нафтопродуктову фракцію і таким чином за своєю випаровуваністю займає проміжне положення між газом і рідиною. Це створює сприятливі

передумови для форсування дизеля за рахунок підготовки робочої суміші до займання та прискорення передпламеневих реакцій. У дослідженнях різних авторів зазначається підвищення ефективної потужності до 30 %, зниження питомої ефективної витрати палива до 6 %, зменшення вмісту викидів оксидів азоту на 22–35 %. Проте на деяких експлуатаційних режимах можуть виникати і негативні явища, такі як підвищення температури відпрацьованих газів на 65–75 °С, температури деталей циліндро-поршневої групи на 10 °С, тобто виникає небезпека перегріву двигуна. Крім того, збільшення тепловиділення у початкових фазах згоряння може спричинити підвищення «жорсткості» роботи дизеля. Тому в умовах жаркого клімату дозу бензину при двофазному сумішоутворенні бажано обмежувати на рівні не більше ніж 10 % від основної дози палива.

Для усунення перегріву двигуна та інших негативних явищ разом із бензином у першій фазі сумішоутворення подавали водний активатор. При цьому спостерігалось підвищення ефективної потужності на 14 % і зниження викидів оксидів азоту у 1,4 раза. Альтернативні види моторних палив на основі рослинних олій також можуть використовуватися як активатори при двофазному сумішоутворенні. Так, було проведено дослідження дизеля Д-243 із двофазним сумішоутворенням і подачею ріпакової олії. Дози ріпакової олії становили 5 % і 10 % від основної дози дизельного палива, причому цей активатор подавали як при нормативній подачі основної дози палива, так і при заниженій на 10 %. При заниженій подачі палива та 5%-ній дозі ріпакової олії спостерігалось зниження потужності дизеля на 7 %, а при збільшенні дози олії до 10 % зниження потужності не відбувалося.

При нормативній подачі основної дози палива та 5%-ній дозі олії було досягнуто підвищення потужності на 5 %. За всіх співвідношень палива та активатора спостерігалось зниження вмісту оксидів азоту, яке становило близько 6 %. Димність відпрацьованих газів зменшувалася при заниженій подачі основної дози палива і дещо збільшувалася при нормативній подачі. Також у

всіх варіантах двофазного сумішоутворення дещо зросли викиди оксиду вуглецю (CO).

За кордоном пріоритетним напрямом є поліпшення екологічних показників поршневих ДВЗ тракторів і автомобілів. У цьому аспекті як активатори найбільший інтерес становлять спирти (етанол і метанол). Переважна частина досліджень дизелів із двофазним сумішоутворенням, що проводяться у провідних країнах світу (Китай, Велика Британія, США та ін.), присвячена використанню саме цих активаторів. Найбільш доступним за собівартістю є метанол, який може бути виготовлений практично з будь-якої органічної сировини.

У більшості випадків двофазне сумішоутворення з подачею спиртових активаторів сприяє підвищенню ефективного ККД при високих навантаженнях дизеля та його зниженню – при малих навантаженнях. Це супроводжується зменшенням вмісту в ОГ оксидів азоту та димності, водночас може спостерігатися збільшення викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів [1].

Доза активатора в розглянутих роботах варіюється у широких межах – від 10 % до 90 %, при цьому відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору раціональних доз активаторів.

За кордоном також уже давно й успішно як альтернативні палива для ДВЗ із іскровим запалюванням застосовуються спирто-бензинові змішані палива (бензаноли). Ці палива становлять інтерес як активатори для двофазного сумішоутворення в дизелях. Проте відомості про подібні дослідження у вітчизняній і зарубіжній науково-технічній літературі практично відсутні.

1.2 Огляд відомих технічних рішень для реалізації двофазного змішування в дизелях автотракторної техніки

Найпоширенішим технічним засобом для подачі паливного активатора в першій фазі змішування є карбюратор, змішувальна камера якого сполучається з

впускним трубопроводом дизеля. Одна з таких систем показана на рис. 1.1. Доза активатора, що подається в першій фазі змішування, змінюється за рахунок розрідження у впускному трубопроводі 5 при зміні положення дросельної заслінки карбюратора 6.

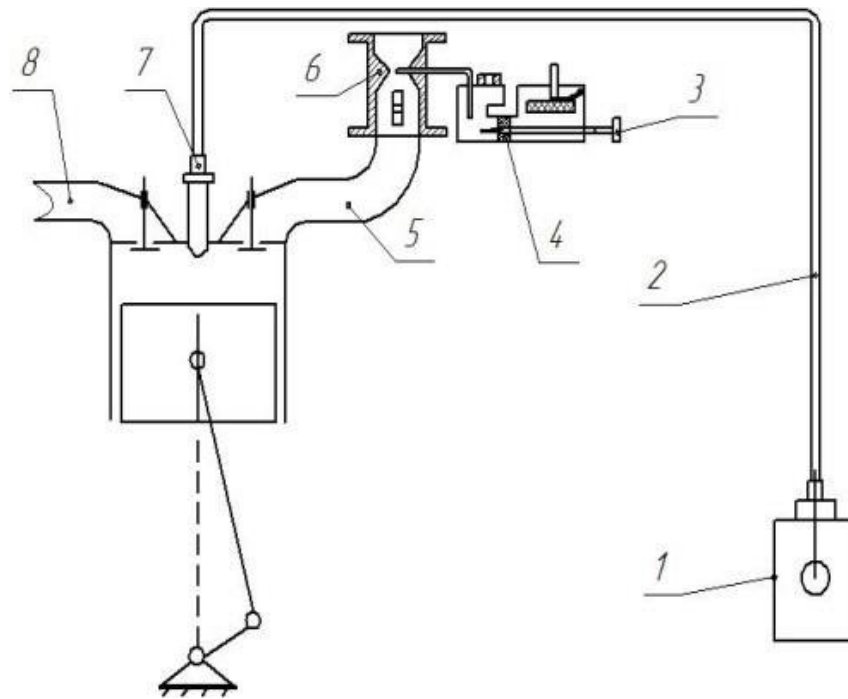


Рис. 1.1. Система живлення дизеля, оснащеного карбюратором для подачі активатора в першій фазі двофазного змішування: 1 – насос подачі основного палива; 2 – паливопровід високого тиску; 3 – регульовальний гвинт складу активаторно-повітряної суміші; 4 – жиклер; 5 – канал впуску повітря; 6 – дифузор; 7 – форсунка вприскування основного палива; 8 – впускний трубопровід.

У Румунії проводилися дослідження дизеля, в якому двофазне змішування здійснювалося за допомогою карбюратора, оснащеного генератором ультразвукового випромінювання (рис. 1.2). В результаті досліджень було досягнуто деяке підвищення ККД двигуна і зниження вмісту оксидів азоту в ОГ. Однак, автори не запропонували практично реалізованого пристрою, оскільки при проведенні експерименту управління подачею активатора (етилового спирту) здійснювали вручну впливом на дросельну заслінку карбюратора.

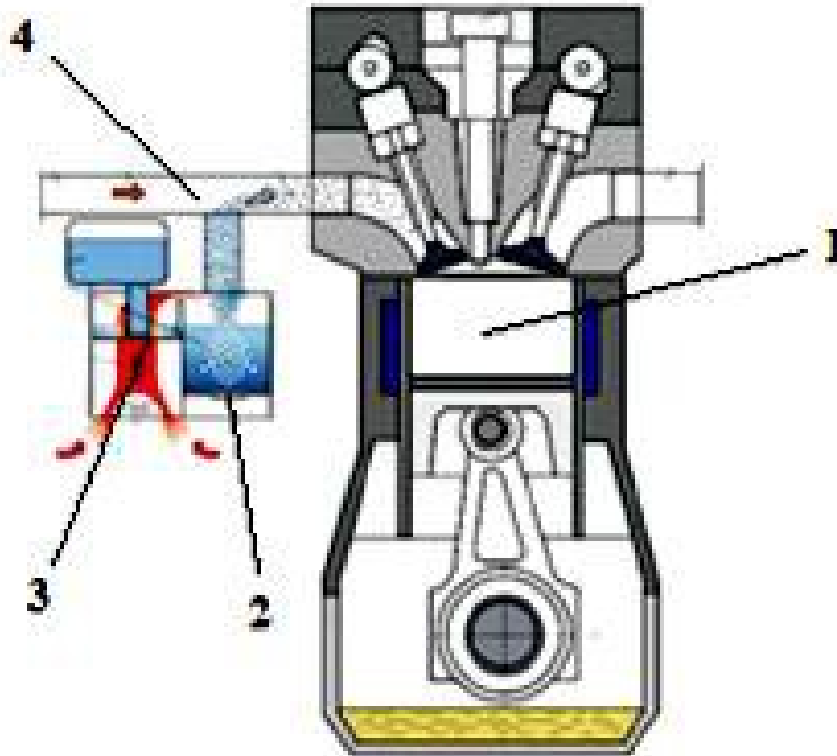


Рис. 1.2. Схема подачі активатора в дизель за допомогою карбюратора, оснащеного пристроєм для ультразвукової обробки активатора: 1 – дизель; 2 – ультразвуковий випромінювач; 3 – карбюратор; 4 – впускний трубопровід.

На рис. 1.3 представлена схема паливної системи з роздільною подачею двох активаторів – спирту і дизельного палива. Паливна система дизеля 1 складається з паливоподаючої форсунки 2 для основної дози палива, ПНВТ 3, фільтрів 4, додаткового підкачувального насоса 5, додаткового паливопроводу 6, форсунки 8 з клапаном 7, розміщеним у впускному трубопроводі 9, впускного клапана 10, ємності для дизельного палива 11, ємності для спиртового активатора 12, карбюратора 13, компресора 14, турбіни 15, повітропроводу 16 і вихідного патрубку 17. У змішувальній камері карбюратора утворюється спиртово-повітряна суміш, яка надходить у впускний трубопровід, а потім у неї додатково впорскується доза дизельного палива. Таким чином, у першій фазі змішування в такті впуску в циліндр дизеля надходить суміш, що складається з трьох компонентів: дизельного палива, спиртового палива і повітря.

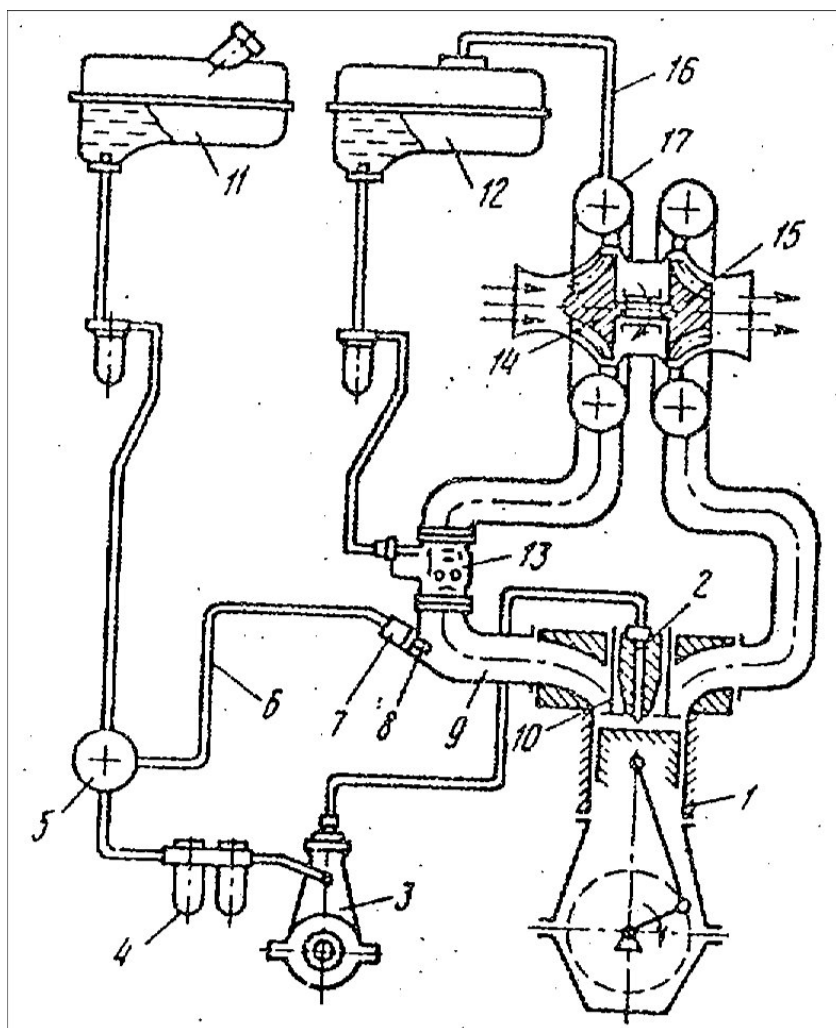


Рис. 1.3. Схема системи живлення дизеля з двофазним змішуванням (найменування позицій у тексті)

Крім карбюратора, відомі й інші механічні пристрої для подачі активатора в першій фазі змішування: випарник, дозатор, аерозольний генератор тощо. Однак загальним недоліком усіх цих пристроїв є неможливість підтримки співвідношення заданої дози активатора (наприклад, 10 % або 20 %), що подається в першій фазі змішування, з основною дозою дизельного палива, що впорскується в другій фазі.

Відомі пристрої для подачі активатора за допомогою додаткового ПНВТ і механічної форсунки, розміщеної у впускному трубопроводі дизеля. Одна з таких систем показана на рис. 1.4. Недоліком такого способу реалізації двофазного змішування є підвищені витрати індикаторної потужності дизеля на привід додаткового ПНВТ, що нівелює ефект від подачі активатора.

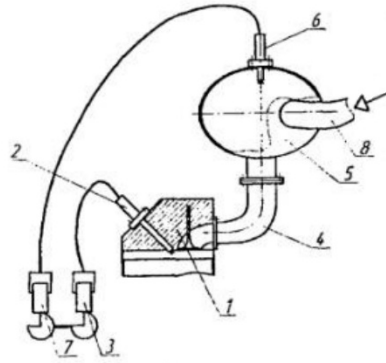


Рис. 1.4. Схема паливної системи дизеля, оснащеного додатковим ПНВТ і форсункою для впорскування активатора: 1 – впускний клапан; 2 – основна форсунка; 3,7 – основний і додатковий ПНВТ; 4 – впускний канал; 5 – впускний трубопровід; 6 – форсунка впорскування активатора; 8 – повітрязабірний патрубок

Для усунення зазначених недоліків найбільш доцільно здійснювати подачу активатора за допомогою електромагнітної форсунки. Відома система одноточкового впорскування активатора (рис. 1.5), розроблена в Поліському університеті і містить фільтр 1, «електронний блок управління

2, електричний насос 3, з'єднувальні трубопроводи 4 і електромагнітну форсунку» 5, що встановлюється на початку впускного трубопроводу дизеля. Електронний блок 2 оснащений регуляторами «початкової установки тривалості та паузи керуючих імпульсів: тривалості в діапазоні від 7 до 700 мс і паузи в діапазоні від 25 до 325 мс».

Дана система забезпечує певний ефект від двофазного змішування, що виражається в поліпшенні потужності, паливно-економічних та екологічних показників дизеля. Однак в ході її досліджень були виявлені наступні недоліки: неможливість налаштування (електронний блок керування) ЕБК на забезпечення двох рівнів фіксованої дози активатора; неможливість автоматичного підтримання необхідної дози активатора з основною дозою палива на різних експлуатаційних режимах тракторного дизеля; міжциліндрова нерівномірність розподілу активаторно-повітряної суміші, що надходить у такт впуску; неможливість реалізації фазованого впорскування активатора, коли

момент впорскування відповідає порядку чергування тактів впуску в циліндрах багаточиліндрового дизеля; відсутність функції автоматичного відключення подачі активатора.



Рис. 1.5. Загальний вигляд системи одноточкового впорскування паливного активатора (найменування позицій у тексті)

Спосіб усунення зазначених недоліків полягає в можливому застосуванні системи розподіленого впорскування паливного активатора, що містить більш досконалий електронний блок на базі програмованого контролера і забезпечує можливість простого налаштування системи на дозу активатора 10 % або 20 %, автоматичну дозовану подачу активатора в гілки впускного тракту дизеля електромагнітними форсунками, узгоджену з основною дозою палива і тактами впуску в циліндрах.

Подібні роботи активно ведуться в США, Європі та Китаї, причому двофазне змішування намагаються впровадити не тільки на дизелях застарілих моделей з механічним управлінням подачею палива, але і на двигунах з електронним управлінням (наприклад, оснащених акумуляторними системами Common-Rail). Один з варіантів такого дизеля з двофазним змішуванням показаний на рис. 6.

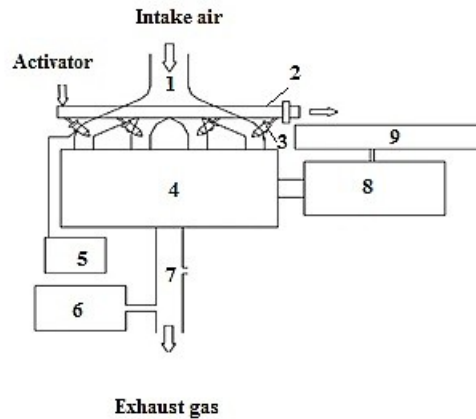


Рис. 1.16. Схема експериментальної установки, що містить дизель з двофазним змішуванням, оснащений системою розподіленого вприскування паливного активатора: 1 – трубопровід впуску повітря; 2 – паливна магістраль; 3 – форсунки вприскування активатора; 4 – дизель; 5 – блок управління вприскуванням активатора; 6 – прилад контролю токсичності відпрацьованих газів; 7 – трубопровід випуску відпрацьованих газів; 8 – гальмівна установка; 9 – пульт оператора стенду

Висновки по розділу

У сформованих умовах виникає потреба в розробці вітчизняної системи для двофазного змішування в дизелі, що забезпечує розподілене вприскування паливного активатора в гілки впускного трубопроводу дизеля в такті впуску.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВНОГО АКТИВАТОРА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розробка електронної системи впорскування паливного активатора в першій фазі змішування

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

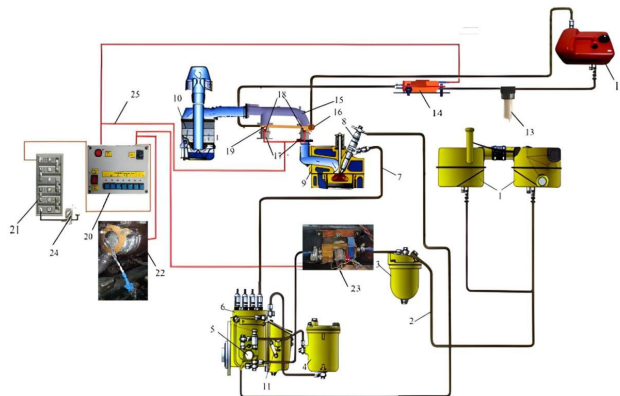


Рис. 2.1. Схема системи живлення дизеля з двофазним змішуванням в дизелі: 1 – паливний бак основного палива; 2 – всмоктувальний паливопровід; 3 – фільтр-відстійник; 4 – фільтр основного моторного палива; 5 – підкачувальний насос низького тиску; 6 – ТНВТ; 7 – нагнітальний паливопровід; 8 – форсунка впорскування дизельного палива; 9 – головка блоку 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 управління; 21 – джерело живлення; 22 - датчик моменту впорскування активатора і швидкісного режиму; 23 – датчик витрати дизельного палива; 24 – вимикач маси; 25 – електричний кабель.

У свою чергу, 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 управління (МБУ) 4, джерело живлення 5, датчик 6 витрати палива, датчик 7 моменту впорскування активатора і швидкісного режиму, паливну рампу 11, регулятор тиску 12, бак для активатора 13 і фільтр 14

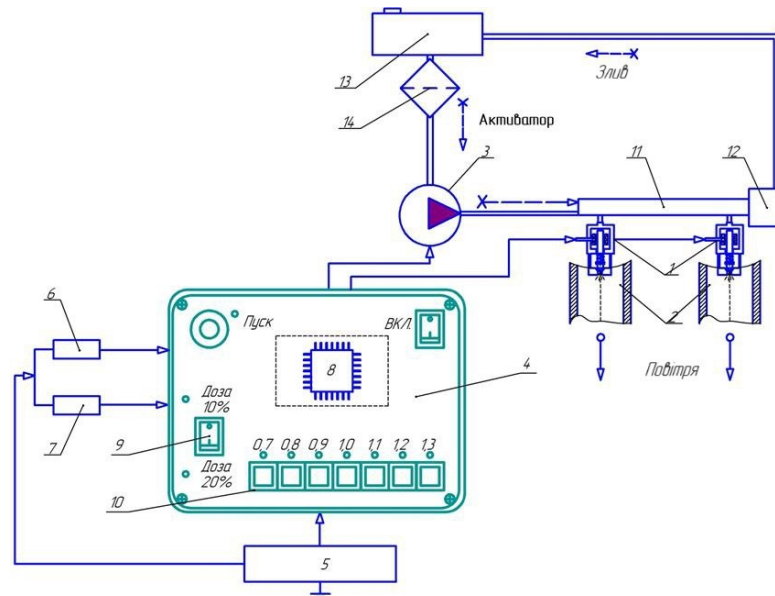


Рис. 2.2. Функціональна схема електронної системи впорскування паливного активатора (найменування позицій у тексті)

Блок 4, виконаний на базі програмованого мікроконтролера 8, містить двопозиційний перемикач 9, виконаний з можливістю задавати режим роботи мікроконтролера на забезпечення двох рівнів годинної подачі активатора (10 % або 20 %) електромагнітною форсункою 1, а також клавіші 10 для введення в програму мікроконтролера коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, що вибирається з діапазону від 0,7 до 1,3 з кроком 0,1 в залежності від в'язкості і щільності подаваного активатора. Для візуального контролю заданих коефіцієнтів дози активатора і корекції годинної подачі передбачені індикаційні світлодіоди.

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



а)



б)



в)



г)

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

Датчик витрати палива (перетворювач витрати тахометричного типу від мотор-тестера КИ-5524) використовується як датчик навантажувального режиму дизеля і служить для узгодження заданої дози паливного активатора, що подається в 1-й фазі сумішоутворення, і основної дози моторного дизельного палива, що подається в 2-й фазі.

Датчик (рис. 3, б) встановлюється в лінії низького тиску штатної паливної системи дизеля в розриві паливопроводу між фільтром грубої очистки і паливопідкачувальним насосом. Основними елементами датчика є вертушка, фотовипромінювач і фотоприймач. Вертушка, обертаючись при протіканні по паливопроводу палива, перериває потік світла, що падає від фотовипромінювача

на фотоприймач, тим частіше, чим вище годинна витрата палива. Таким чином, частота обертання вертушки, пропорційна швидкості протікання палива, перетворюється в частоту електричних імпульсів в ланцюзі фотоприймача і надсилається в МБУ.

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

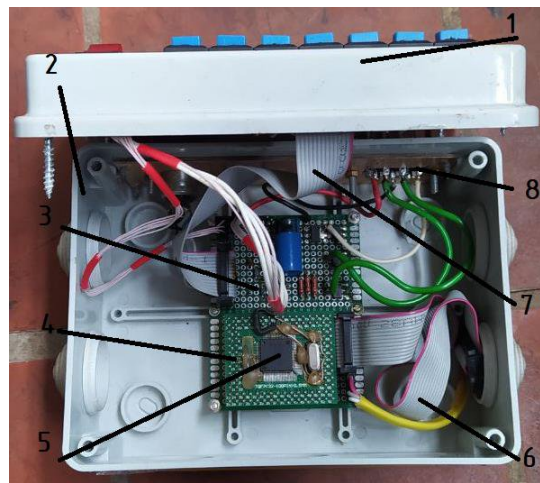


Рис. 2.4. Пристрій мікроконтролерного блоку управління: 1 – панель управління; 2 – корпус; 3 – монтажна плата аналогової частини схеми; 4 – монтажна плата цифрової частини схеми; 5 – мікроконтролер MSP430; 6 – CAN-шина налагоджувального роз'єму; 7 – CAN-шина панелі керування; 8 – роз'єм для датчиків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

CAN-шина 6 містить налагоджувальний роз'єм, що служить для підключення програматора при прошиванні мікроконтролера 5.

Роз'єм 8 служить для підключення датчиків системи і 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 в якості датчика частоти обертання к.в. дизеля. Основними елементами датчика (рис. 2.5) є

неодимовий магніт 3, встановлений радіально на приводній шестерні ТНВД і обертається разом з нею, і магнітокерована мікросхема 2 від датчика Холла, нерухомо закріплена на передній кришці 1 ТНВД.

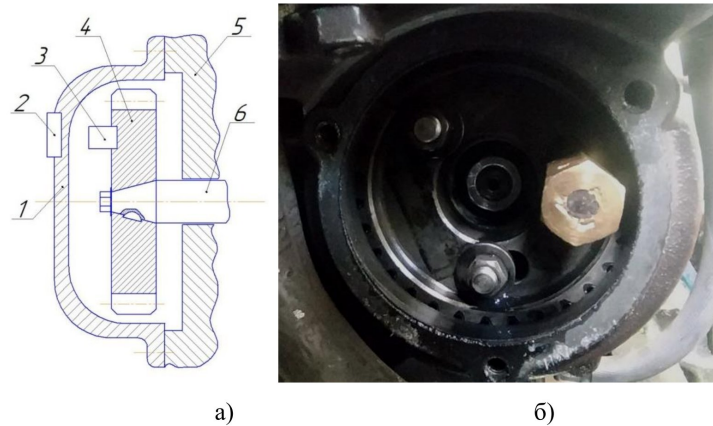


Рис. 2.5. Вузол датчика моменту вприскування активатора і швидкісного режиму: а) монтажна схема; б) місце установки датчика на дизелі; 1 – передня кришка ТНВД; 2 – датчик Холла; 3 – неодимовий магніт; 4 – приводна шестерня паливного насоса; 5 – корпус паливного насоса; 6 – вал приводу паливного насоса.

Мікросхема розміщена на кришці ТНВД таким чином, щоб обертовий магніт своїм магнітним полем впливав на мікросхему в той момент, коли в першому циліндрі дизеля починається такт впуску. За рахунок того, що штатна кришка 1 виготовляється з алюмінієвого сплаву, вона не сприяє спотворенню магнітного поля, створюваного неодимовим магнітом 3. Це дозволяє встановити мікросхему 2 від датчика Холла на зовнішній поверхні кришки. У момент проходження магніту 3 навпроти мікросхеми 2 вона виробляє імпульсний сигнал, який надсилається в МБУ і служить для нього інформативним сигналом для подачі команди на спрацьовування електромагнітних форсунок відповідно до порядку роботи циліндрів дизеля.

Електронна система вприскування паливного активатора в складі системи двофазного змішування працює наступним чином.

Після запуску і прогріву дизеля оператор натисканням на кнопку «Вкл.» (див. рис. 21) підключає МБУ 4 до джерела живлення 5 бортової мережі

трактора, після чого за допомогою перемикача 9 встановлює необхідну дозу активатора на рівні 10 % або 20 % від масової витрати моторного палива, а за допомогою клавіш 10 вводить коефіцієнт корекції годинної подачі активатора. При виборі того чи іншого коефіцієнта відбувається включення одного з контрольних світлодіодів. Одночасно з цим МБУ дає команду на включення насоса 3, який подає активатор в рампу 11 і далі до форсунок 1.

Вхідні сигнали від датчиків 6 і 7 надходять в блок 4, який обробляє вхідну інформацію про поточні параметри навантажувального і швидкісного режимів дизеля з урахуванням значень коефіцієнтів КДА і КВ, введених за допомогою перемикача 9 і клавіш 10.

На підставі отриманої інформації МБУ обчислює тривалість керуючих імпульсів $T_{впр}$, формує вихідний сигнал нульового або одиничного рівня напруги і надсилає його в обмотки електромагнітних форсунок 1. При цьому сигнал від датчика моменту вприскування і швидкісного режиму, що надходить в МБУ, ініціює подачу командних сигналів в обмотки електромагнітних форсунок відповідно до діаграми.

Зі зміною вхідних параметрів, що характеризують навантажувальний і швидкісний режим роботи дизеля трактора, тривалість керуючих імпульсів (час відкриття електромагнітного клапана форсунки) змінюється таким чином, що кількість активатора, що впорскується форсунками 1 за цикл, змінюється пропорційно частоті вхідних сигналів від датчика витрати моторного палива, що споживається дизелем, з урахуванням заданого рівня годинної подачі активатора електромагнітною форсункою в кількості 10 % або 20 %, заданої оператором за допомогою двопозиційного перемикача 9, і коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, введеного оператором за допомогою клавіш 10.

На підставі отриманої інформації МБУ обчислює тривалість керуючих імпульсів $T_{впр}$, формує вихідний сигнал нульового або одиничного рівня напруги і надсилає його в обмотки електромагнітних форсунок 1. При цьому сигнал від датчика моменту вприскування і швидкісного режиму, що надходить в МБУ,

ініціює подачу командних сигналів в обмотки електромагнітних форсунок відповідно до діаграми

Зі зміною вхідних параметрів, що характеризують навантажувальний і швидкісний режим роботи дизеля трактора, тривалість керуючих імпульсів (час відкриття електромагнітного клапана форсунки) змінюється таким чином, що кількість активатора, що впорскується форсунками 1 за цикл, змінюється пропорційно частоті вхідних сигналів від датчика витрати моторного палива, що споживається дизелем, з урахуванням заданого рівня годинної подачі активатора електромагнітною форсункою в кількості 10 % або 20 %, заданої оператором за допомогою двопозиційного перемикача 9, і коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, введеного оператором за допомогою клавіш 10.

Продуктивність насоса подачі активатора завідомо більша, ніж пропускна здатність електромагнітних форсунок. При цьому на режимах холостого ходу і часткових навантаженнях тиск активатора в системі впорскування може значно підвищитися, що може призвести до руйнування шлангів і з'єднань гідравлічної частини системи. Для попередження даного явища і стабілізації тиску в системі впорскування активатора передбачений регулятор тиску (запобіжний клапан) 12, який здійснює скидання надлишкового тиску активатора в рампі і направляє його назад в бак для активатора.

Після зупинки дизеля інформативні сигнали від датчиків 6 і 7 перестають надходити в МБУ, при цьому через 5 с ланцюги живлення електромагнітних форсунок 1 і електричного насоса 3 автоматично знеструмлюються, а подача активатора до форсунок припиняється.

Після закінчення роботи трактора оператор відключає МБУ від бортової мережі трактора натисканням клавіші «ВКЛ».

На розроблену електронну систему впорскування паливного активатора отримано позитивне рішення про видачу патенту на корисну модель.

2.2 Методика лабораторних досліджень системи двофазного змішування в дизельному двигуні.

Для перевірки працездатності МБУ і в цілому системи впорскування паливного активатора скомплектована лабораторна установка (рис. 2.6), що містить джерело живлення 1, ємність 2 для активатора з розміщеним всередині електричним насосом 7, рампу 3, електромагнітні форсунки 4, мірні колби 5, мікроконтролерний блок управління, частотомір 8 і світлолучевий осцилограф 9. Для імітації імпульсних сигналів, що надходять з датчиків, був розроблений двоканальний генератор імпульсів 10.

За оціночний показник працездатності системи було прийнято величину годинної подачі активатора. В якості активатора використовувалося товарне нафтове дизельне паливо і спирт етиловий 95-й.

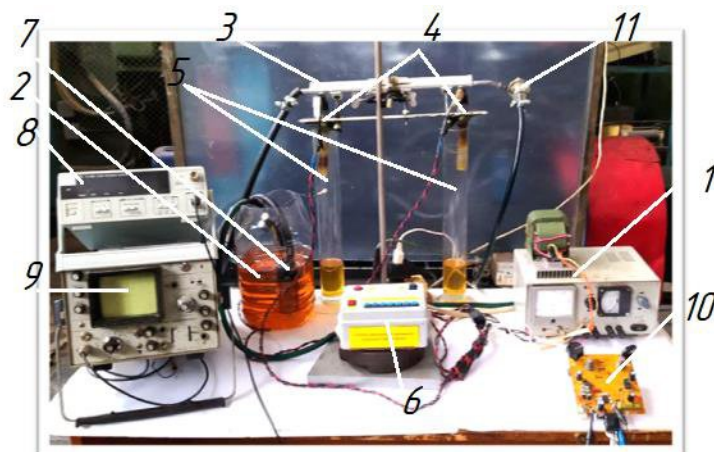


Рис. 2.6. Експериментальна установка для лабораторних досліджень системи двофазного змішування: 1 – джерело живлення; 2 – ємність з активатором; 3 – рампа; 4 – електромагнітні форсунки; 5 – мірні колби; 6 – мікроконтролерний блок управління; 7 – електричний насос; 8 – частотомір FC-3000; 9 – електронно-променевий осцилограф С1-72; 10 – генератор імпульсів.

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

За допомогою підлаштувальних 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.

Перемикачем на панелі мікроконтролерного блоку 6 встановлювали необхідну дозу активатора (10 % або 20 % від годинної витрати моторного палива). Перед початком вимірювань 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 в колби надійде кількість активатора, рівна 400 мл. Одночасно контролювали тривалість керуючих імпульсів, що надходять на електромагнітні форсунки, і рівномірність надходження активатора в мірні колби.

Вимірювання здійснювали в трикратній повторюваності, а отримані результати заносили в протокол випробувань. Потім за допомогою генератора імпульсів встановлювали частоти, що імітують інший навантажувально-швидкісний режим дизеля, і повторювали цикл вимірювань.

2.3 Методика стендових досліджень тракторного дизеля, оснащеного системою двофазного змішування

Для стендових досліджень дизеля з двофазним змішуванням була скомплектована експериментальна установка (рис. 2.3), що містила динамометричну машину KS-56/4 з контрольно-вимірювальною апаратурою, тракторний дизель Д-243-648, оснащений розробленою системою двофазного змішування, та вимірювально-реєструвальний комплекс (ВРК).

До складу ІРК входили: витратоміри моторного палива та активатора, вимірювальний пристрій ІМД-ЦМ, частотомір FC-3000, вимірювачі температури палива, активатора, моторної оливи та охолоджувальної рідини, тахометр, газоаналізатор ГІАМ-29-М3 (рис. 2.4).

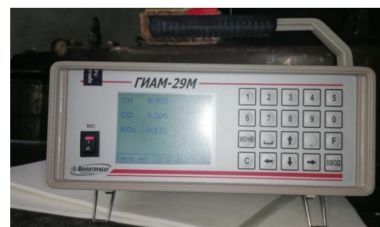
В якості активаторів використовувалися нафтове дизельне паливо ДТ-Л-62-К5, сумішеве дизельне паливо (50% ріпакової олії + 50% нафтового ДТ), 95%-ний етиловий спирт, бензин АІ-92 і бензанол Е30 (спирто-бензинове сумішеве паливо з об'ємним вмістом етилового спирту 30%). Доза активатора, що подається в першій фазі змішування, становила 10% і 20% від годинної витрати моторного дизельного палива, що подається в другій фазі.



Рис. 2.7. Загальний вигляд експериментальної моторної установки.



а)



б)

Рис. 2.8. Обладнання для експериментальних досліджень: оснащене системою розподіленого впорскування активатора; а) пристрій ИМД-ЦМ б) газоаналізатор ГИАМ-29-М3;

Дослідження дизеля проводилися в умовах характеристики холостого ходу і в режимі вільного прискорення.

За метод дослідження був прийнятий метод порівняльної оцінки потужності, паливно-економічних та екологічних показників тракторного дизеля з типовим (однофазним) і експериментальним (двофазним) утворенням суміші.

В умовах характеристики холостого ходу оцінювалися наступні показники дизеля: годинна витрата моторного палива, активатора і сукупного палива, вміст оксиду вуглецю, вуглеводнів і оксидів азоту.

Зняття характеристики холостого ходу проводилося в діапазоні частот обертання к.в. дизеля від 1000 хв^{-1} до 2200 хв^{-1} з кроком 200 хв^{-1} в наступній послідовності:

- 1) прогріти дизель до робочої температури охолоджуючої рідини і моторного масла $80-90^{\circ}\text{C}$;
- 2) встановити за допомогою важеля внутрішньорегулювального регулятора частоту обертання колінчастого вала дизеля 1000 хв^{-1} ;
- 3) виміряти в трикратній повторюваності час витрати навіски палива і активатора та екологічні показники;
- 4) увімкнути на панелі управління МБУ подачу 10%-ої дози активатора і повторити операцію (3);
- 5) увімкнути на панелі управління МБУ подачу 20%-ої дози активатора і повторити операцію (3);
- 6) вимкнути подачу активатора;
- 7) встановити наступну частоту обертання к.в. і повторити операції (3 – 6).

Екологічні показники дизеля визначалися за допомогою портативного трикомпонентного газоаналізатора ГІАМ-29-М3. Пробовідбірник газоаналізатора встановлювали в отвір випускної труби дизеля (рис. 4.4) відповідно до інструкції з експлуатації. Перед кожним виміром здійснювали продувку оптичного каналу газоаналізатора за допомогою вбудованого насоса.



Рис. 2.9. Місце встановлення пробовідбірника газоаналізатора в системі відведення відпрацьованих газів дизеля

На режимі вільного прискорення оцінювалися ефективна потужність дизеля (безгальмівним методом) та екологічні показники.

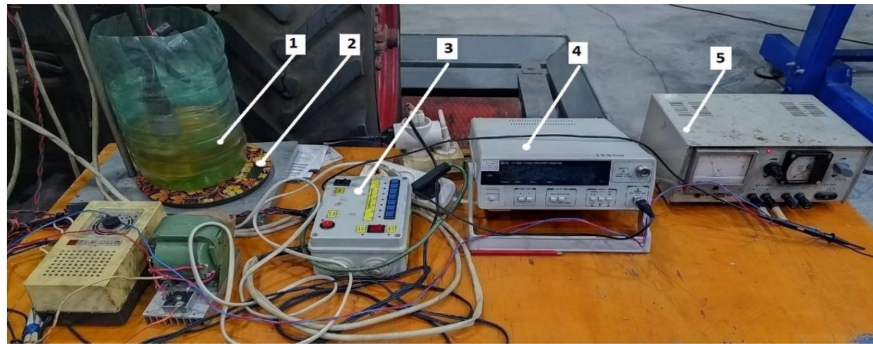
Ефективна потужність дизеля (N_e) визначалася за допомогою вимірювального пристрою ІМД-ЦМ. Індуктивний датчик (перетворювач частоти обертання) встановлювався в отвір у картері дизеля навпроти зубчастого вінця маховика і з'єднувався електричним кабелем з електронним блоком вимірювального пристрою.

Перед виміром прилад було відкалібровано за частотою обертання і кутовим прискоренням колінчастого вала, при яких виконувався вимір, згідно з інструкцією з експлуатації.

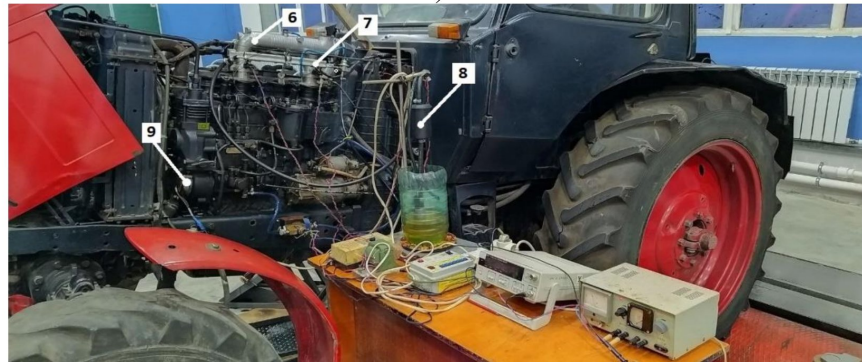
2.4. Методика тягових випробувань трактора з двофазним утворенням суміші в дизельному двигуні

Методика досліджень передбачала визначення тягово-економічних характеристик трактора МТЗ-82 з дизелем Д-243, укомплектованим паливним насосом 4УТНМ (рис. 2.10) при роботі з двофазним змішуванням.

У лабораторних тягових випробуваннях використовувалися такі прилади та обладнання: стенд для колісних тракторів КІ-8948, до складу якого входять приводний блок (електромашини АКБ-92-8М і редуктор Ц2УН-315) з двома барабанами, рідинний реостат навантаження, пульт управління, довантажувальний пристрій; витратоміри моторного палива та активатора; система відведення відпрацьованих газів; термометр (для вимірювання температури повітря); барометр (для вимірювання атмосферного тиску).



а)



б)



в)

Рис. 2.10. Експериментальна установка для тягових випробувань трактора з двофазним змішуванням в дизелі на стенді з біговими барабанами: а) вимірювальний комплекс; б) елементи електронної системи розподіленого вприскування 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 вприскування активатора і швидкісного режиму; 10 - витратомір моторного палива; 11 – ємність моторного палива; 12 – панель стенду КІ-8948; 13 – рідинний реостат навантаження; 14 – газоаналізатор ГІАМ-29-М3; 15 – бігові барабани

Запуск двигуна і його прогрів з однофазним змішуванням здійснювався на режимах, рекомендованих в нормативно-технічній документації на проведення тягових випробувань трактора.

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

За оціночні показники роботи трактора з однофазним і двофазним змішуванням були прийняті: дотична сила тяги (P_k), тягова потужність (N_k), частота обертання колінчастого вала двигуна (n_e) і ротора електромашини (барabanів) стенду (n_m), годинна витрата сукупного палива (G_t), дійсна швидкість трактора (V_d), питома витрата палива (g_k) і екологічні показники (вміст оксиду вуглецю, вуглеводнів і оксидів азоту).

Тягові випробування трактора з двофазним утворенням суміші проводили в такій послідовності:

1. Після пуску і прогріву двигуна вмикали восьму передачу трактора, що відповідає шостій робочій передачі.

2. Важіль управління внутрішньорегульованим регулятором частоти обертання к.в. дизеля встановлювали в положення максимальної подачі палива.

3. Знімали тягову характеристику трактора з однофазним змішуванням. При цьому на кожному ступені завантаження трактора записувалися його тягово-економічні та екологічні показники.

4. Переводили двигун на роботу з двофазним змішуванням з подачею 10%-ої дози активатора і повторювали зняття тягової характеристики в подібних точках навантажувальних і швидкісних режимів роботи трактора.

5. Переводили двигун до роботи з двофазним змішуванням з подачею 20%-ої дози активатора і повторювали зняття тягової характеристики в подібних точках навантажувальних і швидкісних режимів роботи трактора.

Сила тяги P_k , потужність N_k і частота обертання ротора n_m визначалися за показаннями штатних міліамперметрів.

Екологічні показники трактора оцінювалися за допомогою газоаналізатора ГІАМ-29-М3 (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Місце встановлення пробовідбірника газоаналізатора ГІАМ-29-М3 на стенді для тягових випробувань трактора з біговими барабанами

За отриманими даними будували тягову характеристику трактора з однофазним і двофазним змішуванням.

2.5 Методика експлуатаційних досліджень трактора з двофазним утворенням суміші в дизельному двигуні

Дослідження трактора в складі оранного агрегату (рис. 2.12) проводили в умовах дослідних загонів поля на зораній землі в експлуатаційних умовах.



а)



б)



в)

Рис. 2.12. Експериментальна установка для експлуатаційних досліджень трактора у складі МТА: а) загальний вигляд МТА; б) 1 – бак для активатора; 2 – впускний трубопровід із вставками, паливною рампою, електромагнітними форсунками та регулятором тиску; 3 – датчик витрати палива; 4 – датчик моменту впорскування активатора та швидкісного режиму; в) мікроконтролерний блок управління.

За оціночні експлуатаційні показники трактора в складі МТА були прийняті: робоча швидкість, годинна продуктивність МТА, погектарна витрата палива, експлуатаційна потужність, питома ефективна витрата енергії на к.в. дизеля МТА .

При проведенні експлуатаційних досліджень трактор агрегувався з трикорпусним плугом ПЛН-3-35 для оранки з глибиною обробки ґрунту 20-22 см. Довжина дослідних загонів вимірювалася сажнем. До і після оранки контрольної ділянки в баках вимірювався об'єм витраченого моторного палива і активатора (бензанолю Е30).

Висновки по розділу.

Розроблено та виготовлено систему двофазного змішування в дизельному двигуні, що містить штатну паливну систему та електронну систему розподіленого впорскування паливного активатора в першій фазі змішування. У свою чергу електронна система впорскування активатора містить ємність для активатора, електричний насос, фільтр, модернізований впускний трубопровід з рампою, електромагнітними форсунками і регулятором тиску, датчик масової витрати палива, датчик моменту впорскування активатора і швидкісного режиму, програмований мікроконтролерний блок управління.

Лабораторні дослідження системи двофазного змішування проводилися з метою перевірки працездатності системи на відповідність годинної подачі паливного активатора, що подається в 1-й фазі змішування, заданій дозі активатора 10 % або 20 % від годинної подачі моторного дизельного палива, що подається в 2-й фазі змішування.

Стендові дослідження тракторного дизеля передбачали оцінку його потужності, паливно-економічних та екологічних показників з двофазним змішуванням.

Стендові дослідження трактора передбачали оцінку його тягово-економічних та екологічних показників з двофазним змішуванням у дизелі.

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

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Результати лабораторних досліджень системи двофазного змішування в дизельному двигуні

За результатами перевірки працездатності розробленої системи розподіленого впорскування активатора в першій фазі змішування були побудовані графічні залежності годинної подачі активатора ГТА (кг/год) залежно від частоти обертання колінчастого вала двигуна на режимах повних навантажень, часткових навантажень і холостого ходу. Отримані графіки представлені на рисунках 3.1 – 3.12.

Отримані фактичні значення годинної подачі активатора при заданих дозах 10% і 20 % (показані на рисунках суцільними лініями) порівнювалися з розрахунковими значеннями (показані на рисунках штриховими лініями).

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

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

При подачі в якості активатора 10 %-ної дози етилового спирту слід вводити коефіцієнт корекції 1,0, а при подачі 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 знаходиться в допустимих межах.

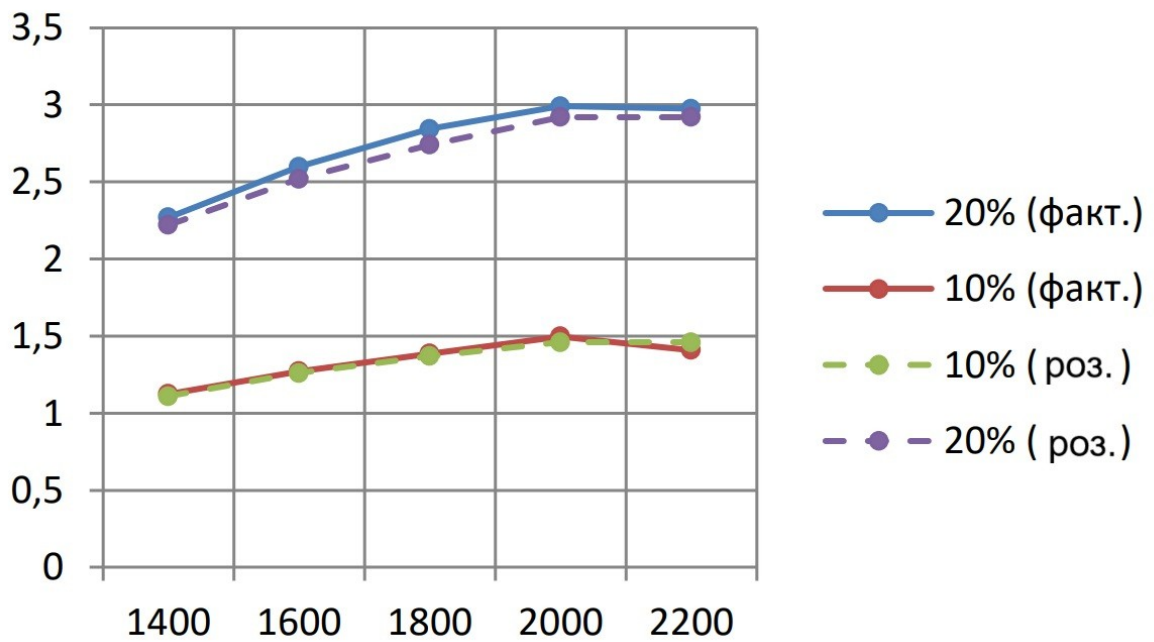


Рис. 3.1. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при повному навантаженні.

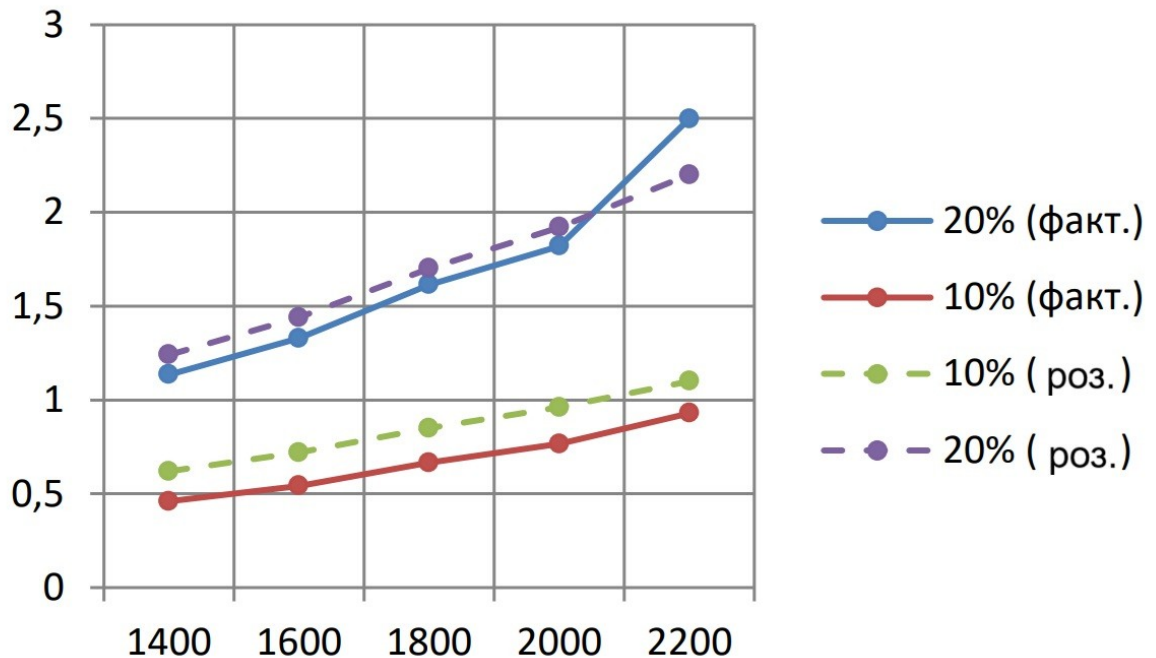


Рис. 3.2. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 80% від номінального.

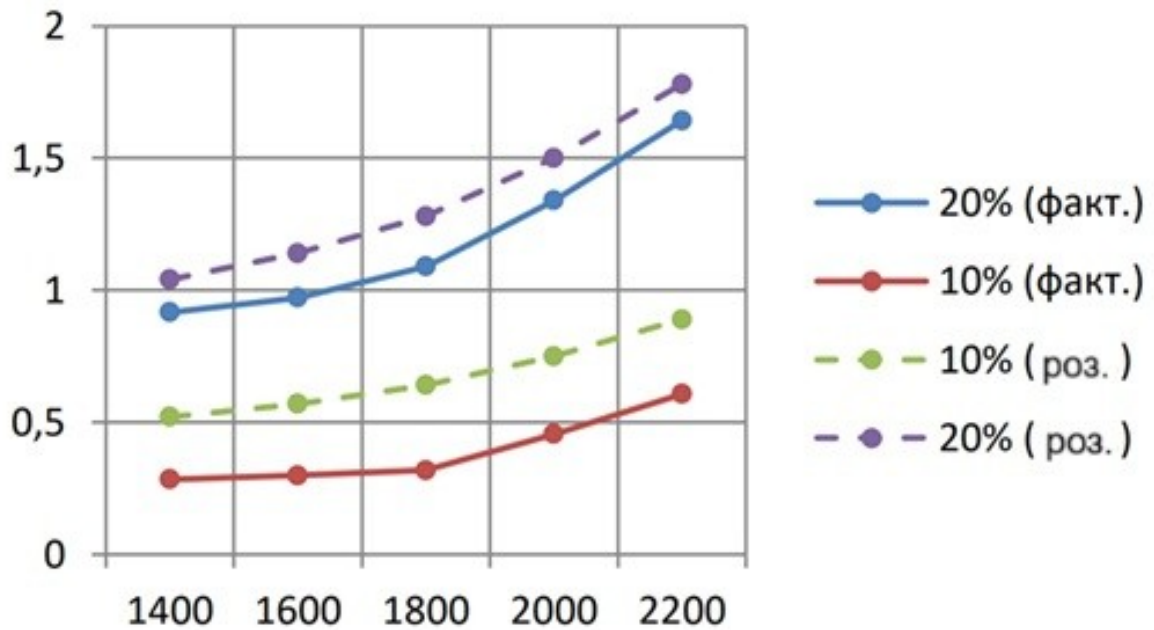


Рис. 3.3. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 60% від номінального

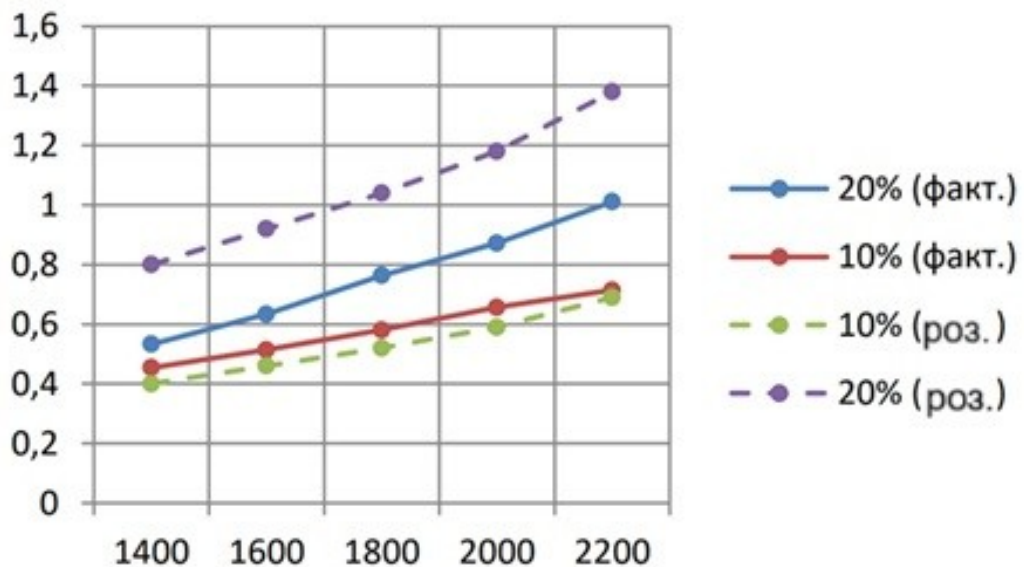


Рис. 3.4. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 40% від номінального.

У режимі малих навантажень (20 % від номінального) і режимі холостого ходу виявилось, що електромагнітні форсунки не здатні забезпечити необхідну подачу активатора, оскільки вони не розраховані на такі малі значення тривалості керуючих імпульсів. При тривалості імпульсу менше 0,5 мс форсунки

не впорскували активатор через інерційність спрацьовування електромагнітного виконавчого механізму.

Щоб усунути цей недолік, подачу активатора на даних режимах довелося «усереднити» шляхом додавання в програму мікроконтролера МБУ умови, що забезпечує фіксовану тривалість впорскування не менше 0,6 мс. В результаті, при 20 %-ному навантаженні на двигун забезпечується фактична доза активатора 15 %, а на режимі холостого ходу – доза 20 % (рис. 3.5 - 3.6 і 3.11- 3.12).

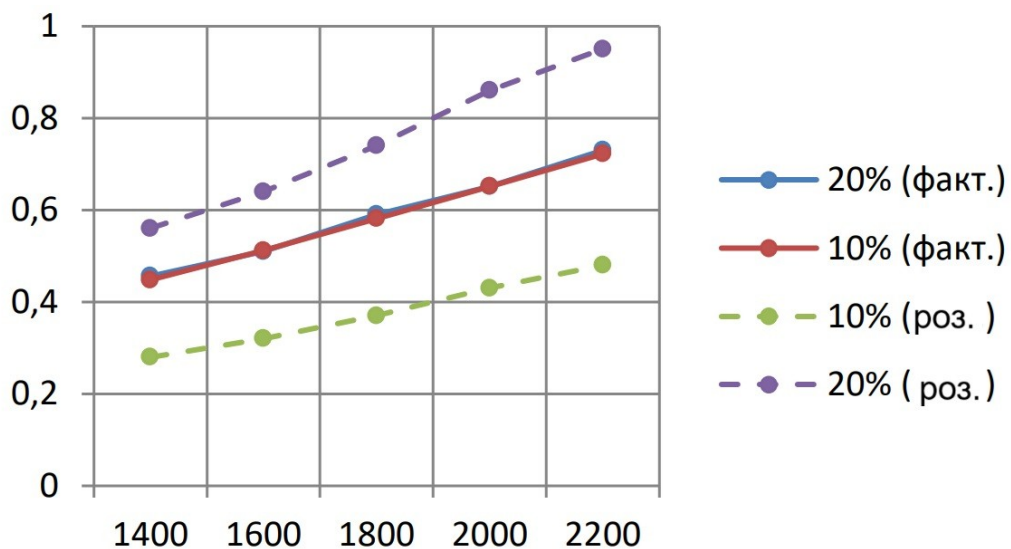


Рис. 3.5. Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) при навантаженні 20% від номінального.

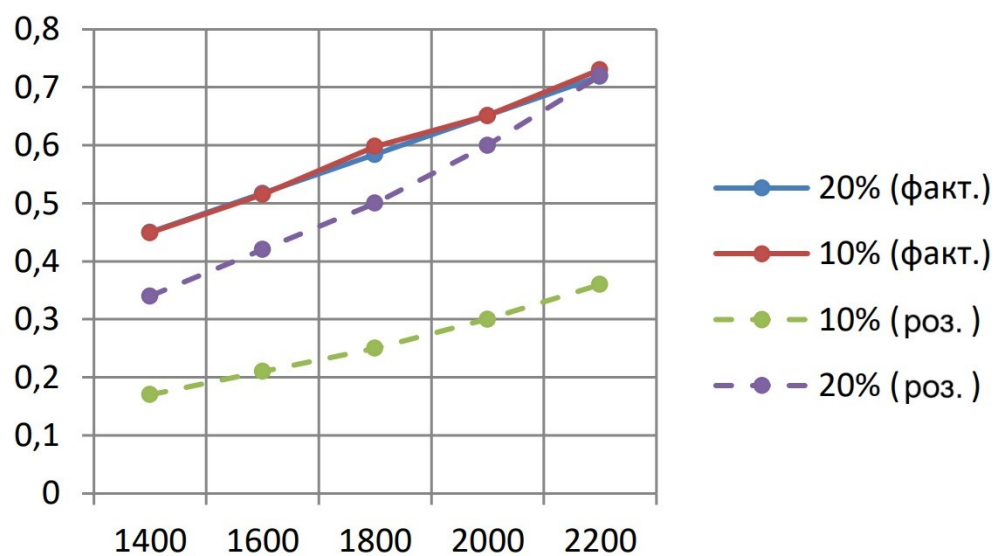


Рис. 3.6 Діаграма годинної витрати активатора (дизельного палива) на холостому ходу

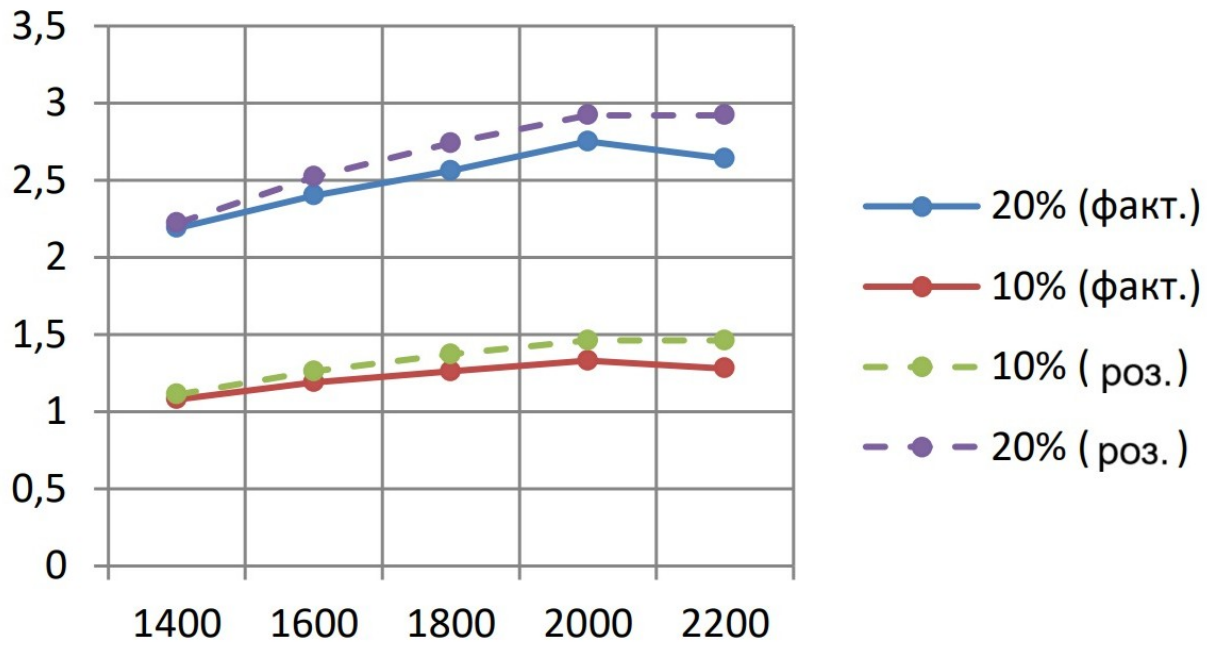


Рис. 3.7. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при повному навантаженні

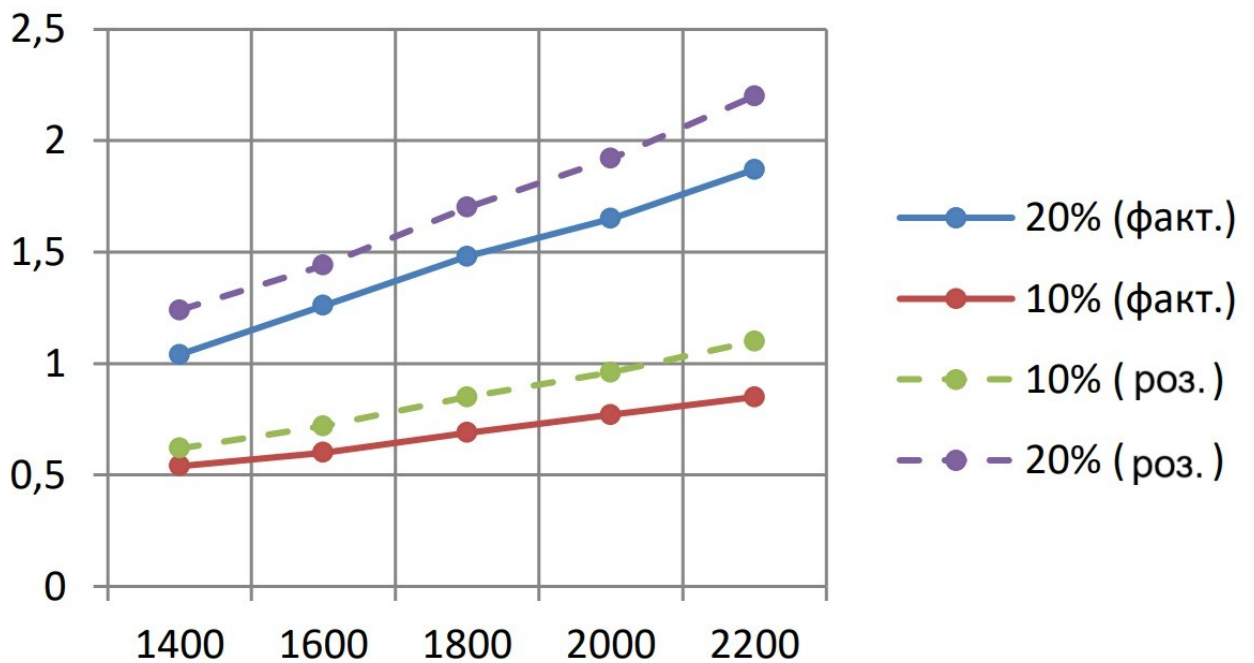


Рис. 3.8. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 80% від номінального

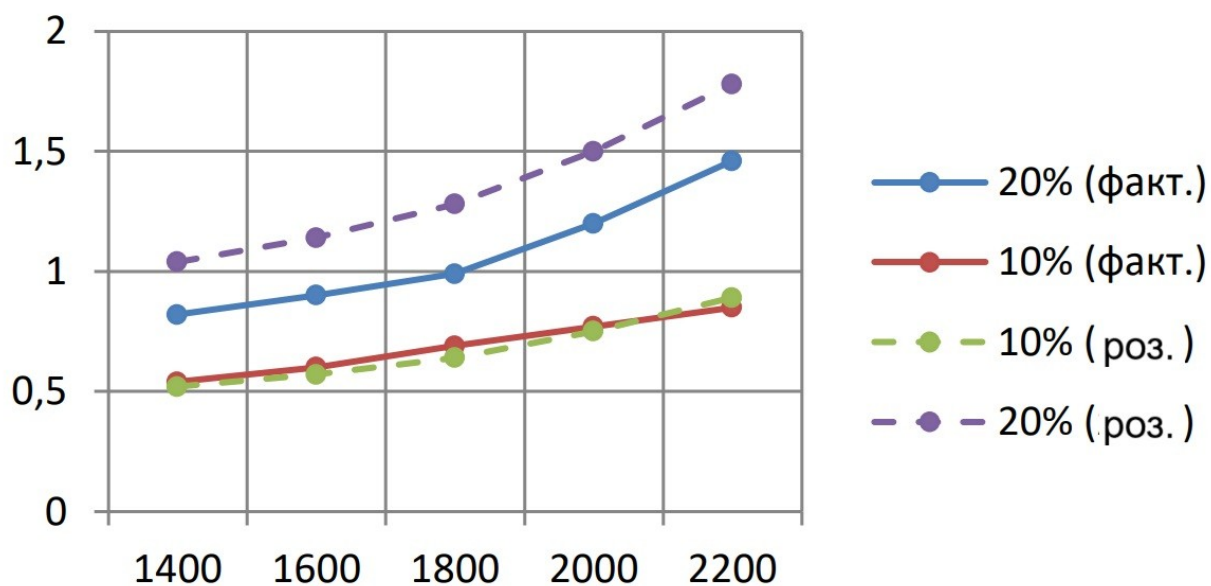


Рис. 3.9. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 60% від номінального.

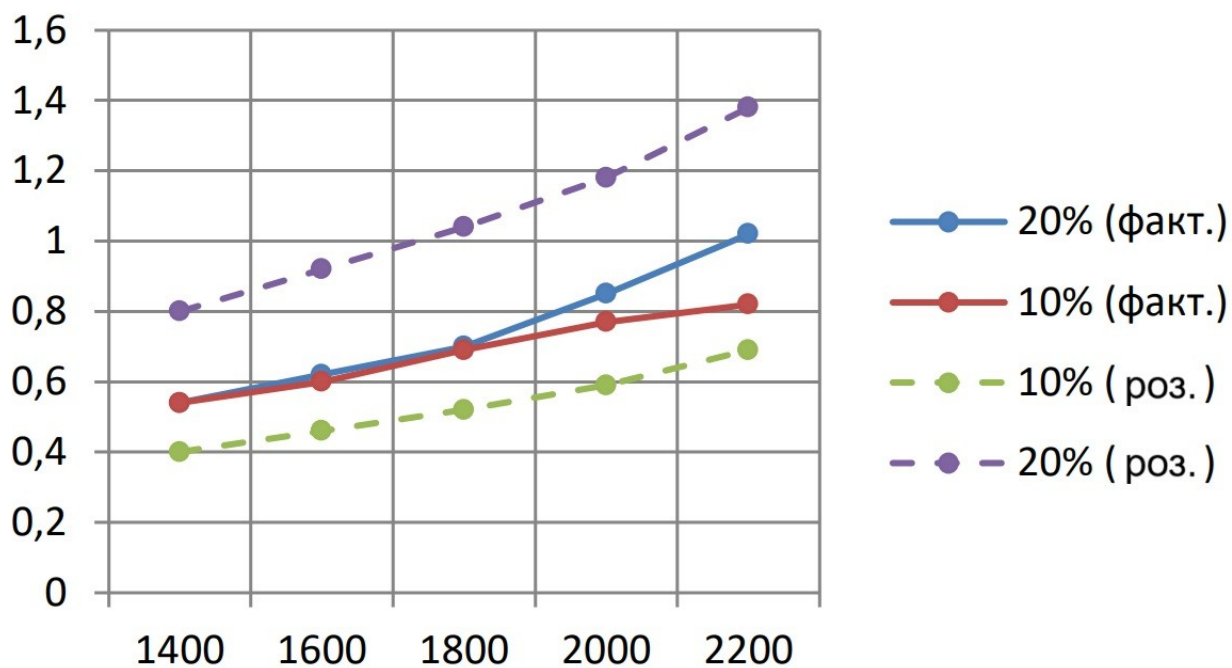


Рис. 3.10. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 40% від номінального

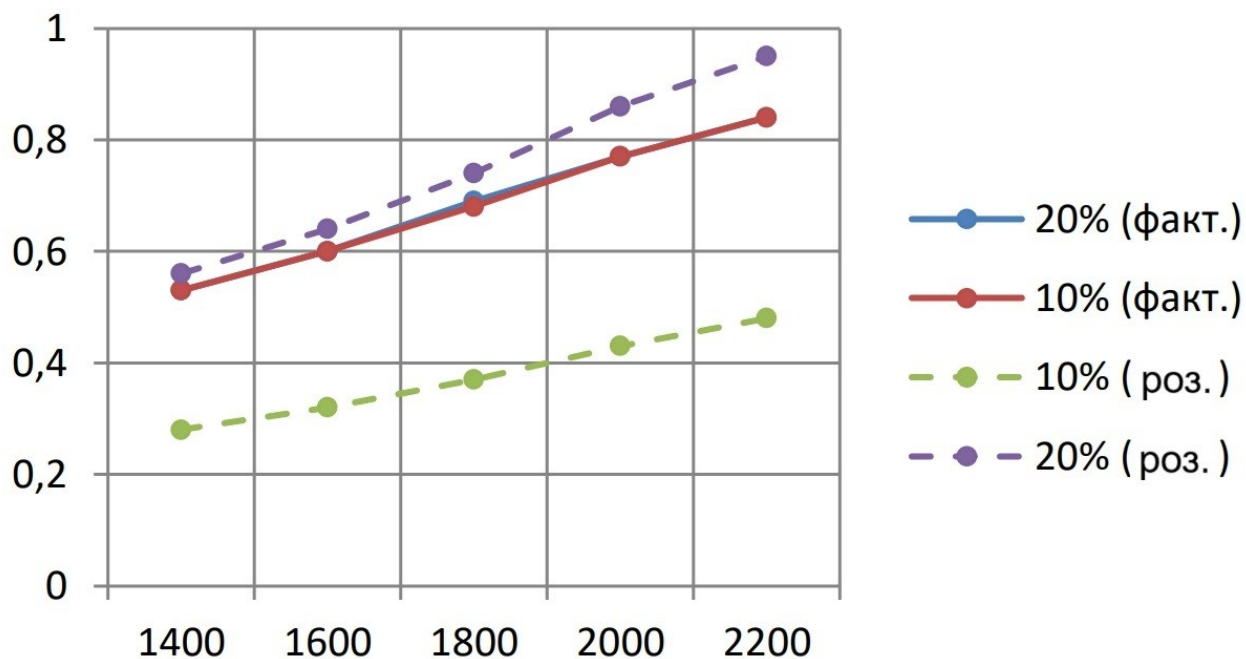


Рис. 3.11. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) при навантаженні 20% від номінального

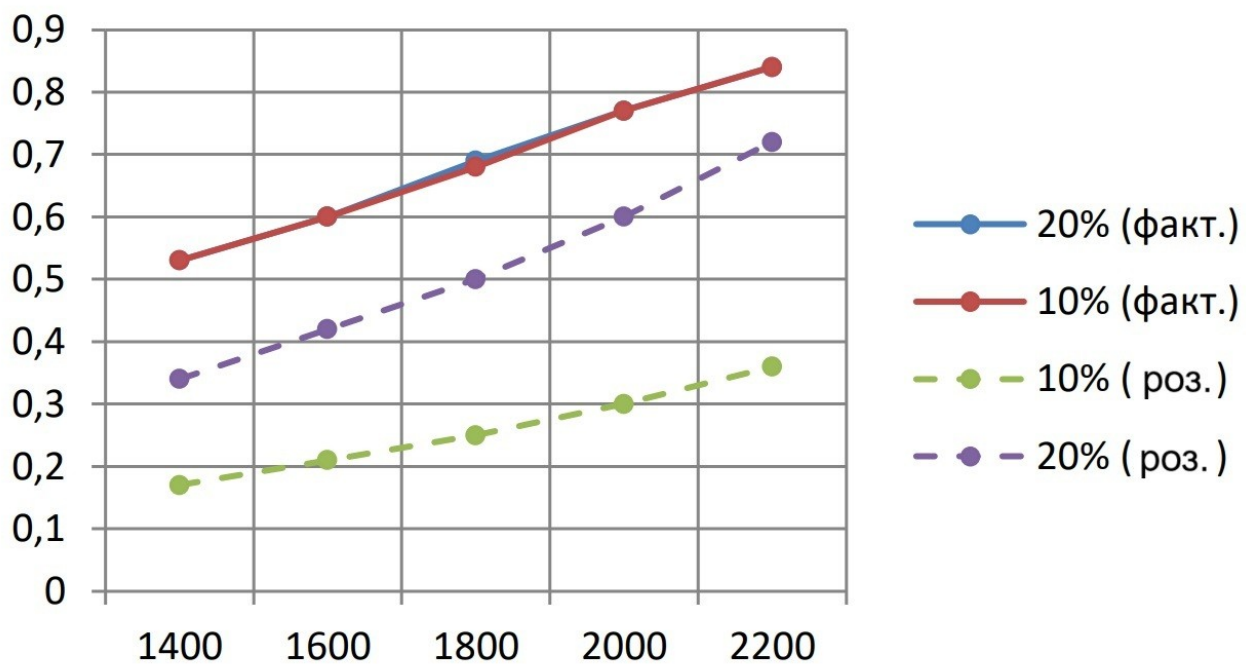


Рис. 3.12. Діаграма годинної витрати активатора (спирту етилового 95%) на холостому ході

3.2 Результати стендових досліджень тракторного дизеля, оснащеного системою двофазного змішування.

Результати стендових досліджень дизеля показують, що двофазне змішування має істотний вплив на зміну потужності та екологічних показників двигуна в порівнянні з однофазним змішуванням.

Двофазне змішування 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 (рис. 3.13).

Найбільш істотна потужність N_e досягається при подачі в якості активатора бензину АІ-92, бензолу Е30, етилового спирту і нафтового дизельного палива.

Аналіз екологічних показників дизеля показує, що двофазне змішування сприяє зниженню вмісту в відпрацьованих газах оксидів азоту (NO_x), що може супроводжуватися деяким збільшенням вмісту оксиду вуглецю (СО) і вуглеводнів (СН).

Найбільш істотне зниження вмісту NO_x при двофазному змішуванні (на 39–74 % залежно від виду і дози активатора) спостерігається при роботі дизеля на безнавантажених режимах. В умовах характеристики холостого ходу (рис. 3.14) двофазне змішування дозволяє знизити викиди оксидів азоту на 39–74 % залежно від виду і дози активатора.

Наприклад, при роботі дизеля на холостому ходу з частотою обертання колінчатого валу 1000 хв-1 подача в першій фазі сумішеутворення 10%-ної дози нафтового дизельного палива дозволяє знизити вміст NO_x з 0,114 ppm (при однофазному сумішеутворенні) до 0,058 ppm (на 49 %).

Подача на тому ж режимі 20%-ної дози етилового спирту здатна знизити NO_x до 0,030 ppm (на 74 %). При частоті обертання колінчатого валу 2200 хв-1 і в однофазному сумішеутворенні вміст оксидів азоту становить 0,158 ppm, при двофазному сумішеутворенні з подачею 10%-ної дози нафтового ДП – 0,101

ppm (зниження на 36%), з подачею 20%-ної дози етилового спирту – 0,080 ppm (на 49 %).

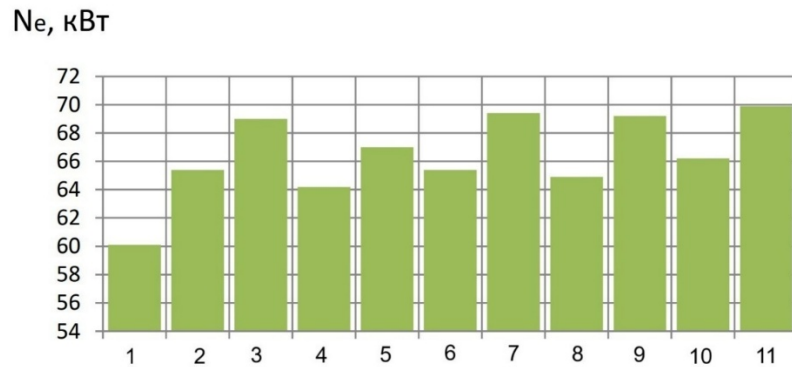


Рис. 3.13. Зміна ефективної потужності дизеля Д-243-648 при однофазному і двофазному змішуванні: 1 – однофазне змішування, 2 – нафтове ДП 10%, 3 – нафтове ДП 20%, 4 – ДСТ 50% РМ 10%, 5 – ДСТ 50% РМ 20%, 6 – Еталон 10%, 7 – еталон 20%, 8 – бензол Е30 10%, 9 – бензол Е30 20%, 10 – бензин Аі-92 10%, 11 – бензин Аі-92 20%.

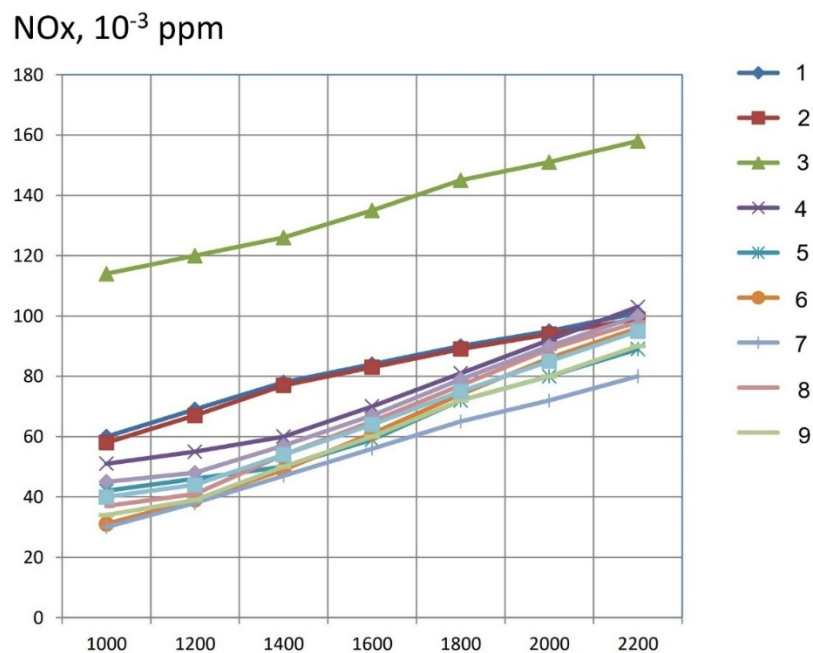


Рис. 3.14. Зміна викидів оксидів азоту при однофазному і двофазному змішуванні в дизелі Д-243-648 в умовах характеристики холостого ходу: 1 – нафтове ДП 10%, 2 – нафтове ДП 20%, 3 – однофазне змішування, 4 – ДСТ 50% РМ 10%, 5 – ДСТ 50% РМ 20%, 6 – Еталон 10%, 7 – еталон 20%, 8 – бензол Е30 10%, 9 – бензол Е30 20%.

Зі збільшенням навантаження на двигун ефект зниження NO_x стає менш істотним і на номінальному режимі становить від 6 до 25 %.

$\text{NO}_x, 10^{-3} \text{ ppm}$

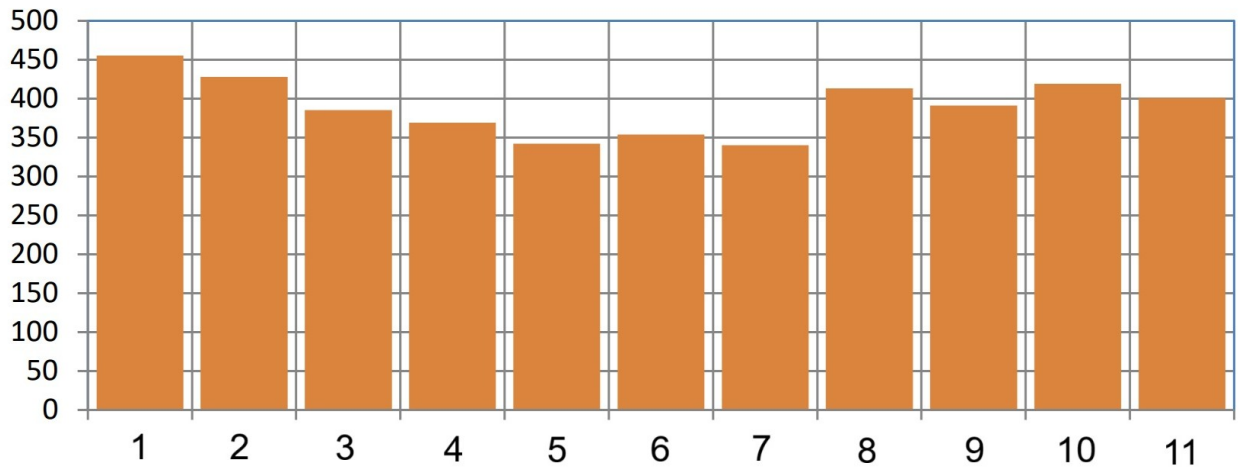


Рис. 3.15. Зміна вмісту оксидів азоту в ОГ при однофазному і двофазному сумішеутворенні в дизелі Д-243-648 в режимі вільного прискорення: : 1 – однофазне змішування, 2 – нафтове ДП 10%, 3 – нафтове ДП 20%, 4 – ДСТ 50% РМ 10%, 5 – ДСТ 50% РМ 20%, 6 – Еталон 10%, 7 – еталон 20%, 8 – бензанол Е30 10%, 9 – бензанол Е30 20%, 10 – бензин Аі-92 10%, 11 – бензин Аі-92 20%.

Зміст оксидів азоту, замірене в режимі вільного прискорення, при однофазному сумішеутворенні склало 0,455 ppm. При двофазному сумішеутворенні з подачею 10%-ної дози нафтяного ДП вміст NO_x знизився до 0,428 ppm (на 6%). Найбільш істотно вміст NO_x знижується при подачі 20%-ної дози бензанолу (на 14%), 10%-ної дози етилового спирту (на 22%), 20%-ної дози етилового спирту (на 25%) і 20%-ної дози сумішевого рапсово-нафтового палива (на 25%).

Зміст оксиду вуглероду (рис. 3.16) найбільш суттєво зростає при подаче в якості активаторів нафтового ДП і сумішевого рослинно-нафтового палива: на 11–37 %. При подачі 10%-ної і 20%-ної дози бензину АІ-92 викиди CO збільшуються менш істотно (відповідно на 3% і 8%), при подачі бензанолу Е30 – знижуються незначно, при подачі етилового спирту – знижуються на 3–4%.

CO, 10^{-3} ppm

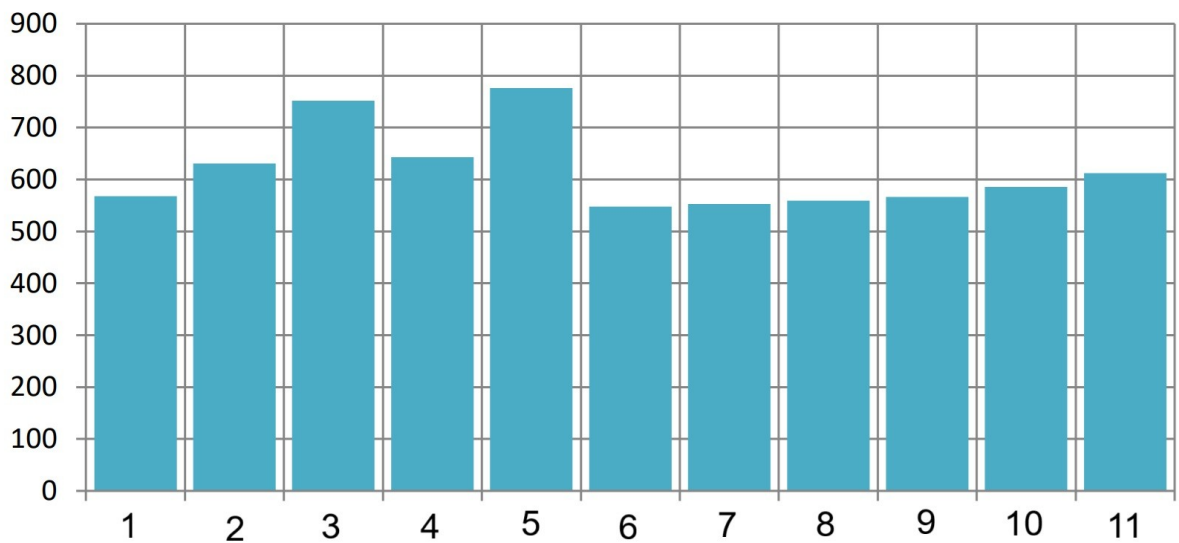


Рис. 3.16. Зміна вмісту оксиду вуглецю в ОГ при типовому і комбінованому сумішоутворенні в дизелі Д-243-648 на режимі вільного прискорення: 1 – однофазне змішування, 2 – нафтове ДП 10%, 3 – нафтове ДП 20%, 4 – ДСТ 50% РМ 10%, 5 – ДСТ 50% РМ 20%, 6 – Еталон 10%, 7 – еталон 20%, 8 – бензанол Е30 10%, 9 – бензанол Е30 20%, 10 – бензин Аі-92 10%, 11 – бензин Аі-92 20%.

Викиди вуглеводнів (рис. 3.17) під час двофазного сумішоутворення з подачею як активаторів нафтового дизельного палива та змішаного рослинно-нафтового палива практично були відсутні: показання газоаналізатора становили 0,000–0,001 ppm, так само як і при однофазному сумішоутворенні.

Однак під час подачі спирту, бензину або бензанолу вміст СН перебуває в межах 0,019–0,021 ppm за 10%-вої дози зазначених активаторів і 0,028–0,032 ppm – за 20%-вої дози.

CH, 10^{-3} ppm

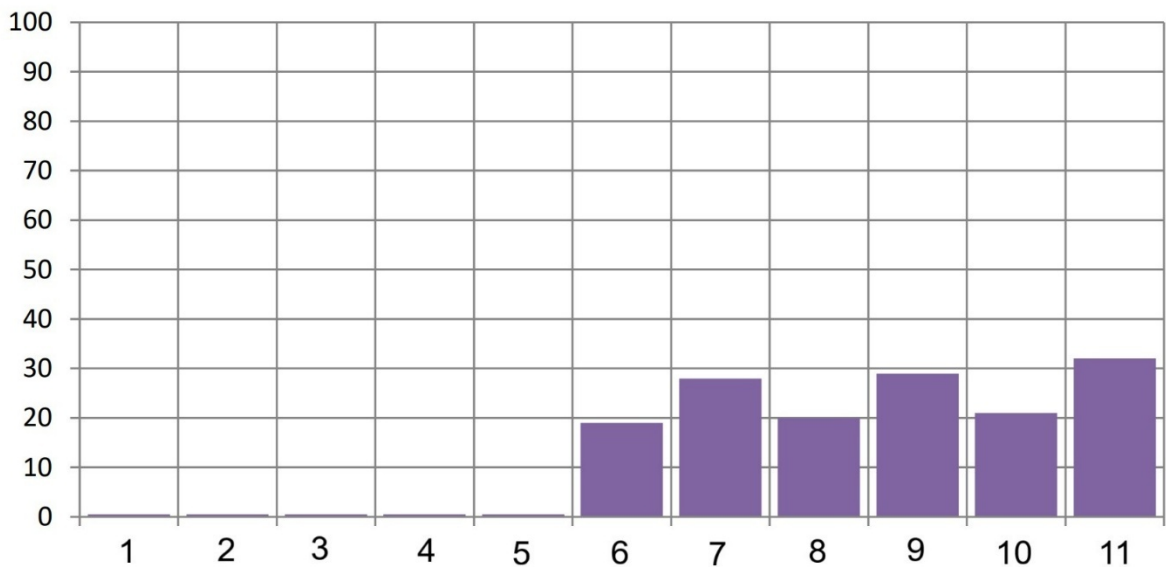


Рис. 3.17. Зміна вмісту вуглеводнів в ОГ при типовому та комбінованому сумішоутворенні в дизелі Д-243-648 у режимі вільного прискорення: 1 – однофазне змішування, 2 – нафтове ДП 10%, 3 – нафтове ДП 20%, 4 – ДСТ 50% РМ 10%, 5 – ДСТ 50% РМ 20%, 6 – Еталон 10%, 7 – еталон 20%, 8 – бензанол Е30 10%, 9 – бензанол Е30 20%, 10 – бензин Аі-92 10%, 11 – бензин Аі-92 20%.

У результаті опрацювання та аналізу отриманих даних стендових досліджень дизеля було виявлено основні переваги та недоліки досліджуваних активаторів.

З аналізу результатів випливає, що використання як активатора нафтового дизельного палива сприяє певному підвищенню ефективної потужності дизеля без утворення викидів вуглеводнів, однак це супроводжується найбільшим зростанням вмісту оксиду вуглецю в ОГ.

За використання як активатора змішаного палива з вмістом 50% ріпакової олії підвищення потужності дизеля є найменш значним, що також супроводжується збільшенням викидів оксиду вуглецю без утворення вуглеводнів.

Використання етилового спирту як активатора сприяє приросту потужності дизеля та водночас забезпечує найбільш сприятливі екологічні характеристики. У цьому режимі зафіксовано максимальне зниження

концентрації оксидів азоту без збільшення кількості оксиду вуглецю, а зростання вмісту вуглеводнів є мінімальним і практично не впливає на загальний рівень токсичності.

Застосування двофазного сумішоутворення із введенням бензину АІ-92 дає змогу досягти найвищого приросту потужності дизельного двигуна, одночасно зменшуючи викиди оксидів азоту. Проте за таких умов спостерігається поява викидів вуглеводнів та помірне збільшення концентрації оксиду вуглецю в відпрацьованих газах.

Використання бензанолу Е30 як активатора забезпечує найбільш оптимальне поєднання поліпшення потужнісних та екологічних показників дизеля. Тому саме цей активатор було обрано для подальших етапів експериментальних досліджень трактора з двофазним сумішоутворенням.

Крім того, у результаті лабораторних та стендових випробувань були визначені рекомендовані коефіцієнти корекції годинної подачі активатора, що вводяться за допомогою клавіш на панелі керування МБУ (таблиця 5.1). Вибір коефіцієнта корекції залежить від виду та дози застосовуваного активатора.

Зазначені коефіцієнти рекомендується використовувати операторам під час роботи на тракторах типу МТЗ-80/82 з двофазним сумішоутворенням.

Таблиця 3.1 – Рекомендації щодо вибору коефіцієнтів корекції під час використання різних активаторів

Температура навколишнього	Доза активатора	Вид активатора				
		ДП- Л- 62- К5	50%РМ + 50%ДТ	Етиловий спирт 95%	Бензин АІ-92	Бензанол Е30
		Коефіцієнти корекції				
до 20°C	10%	1,0	1,1	0,9	0,9	0,9
більше20°C	20%	0,9	1,0	0,8	0,8	0,8

3.3 Результати експлуатаційних досліджень трактора

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі польового МТА свідчать, що під час двофазного сумішоутворення з подачею 10%-вої та 20%-вої дози активатора (бензанолю Е30) експлуатаційна потужність трактора (рис. 3.18, а) зростає відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА (рис. 3.18, б) підвищується на 8 % і 14 %, погектарна витрата палива (рис. 3.18, в) зменшується на 6 % і 9 %, а питомі ефективні витрати енергії на к.в. дизеля знижуються на 2 % і 4 %.

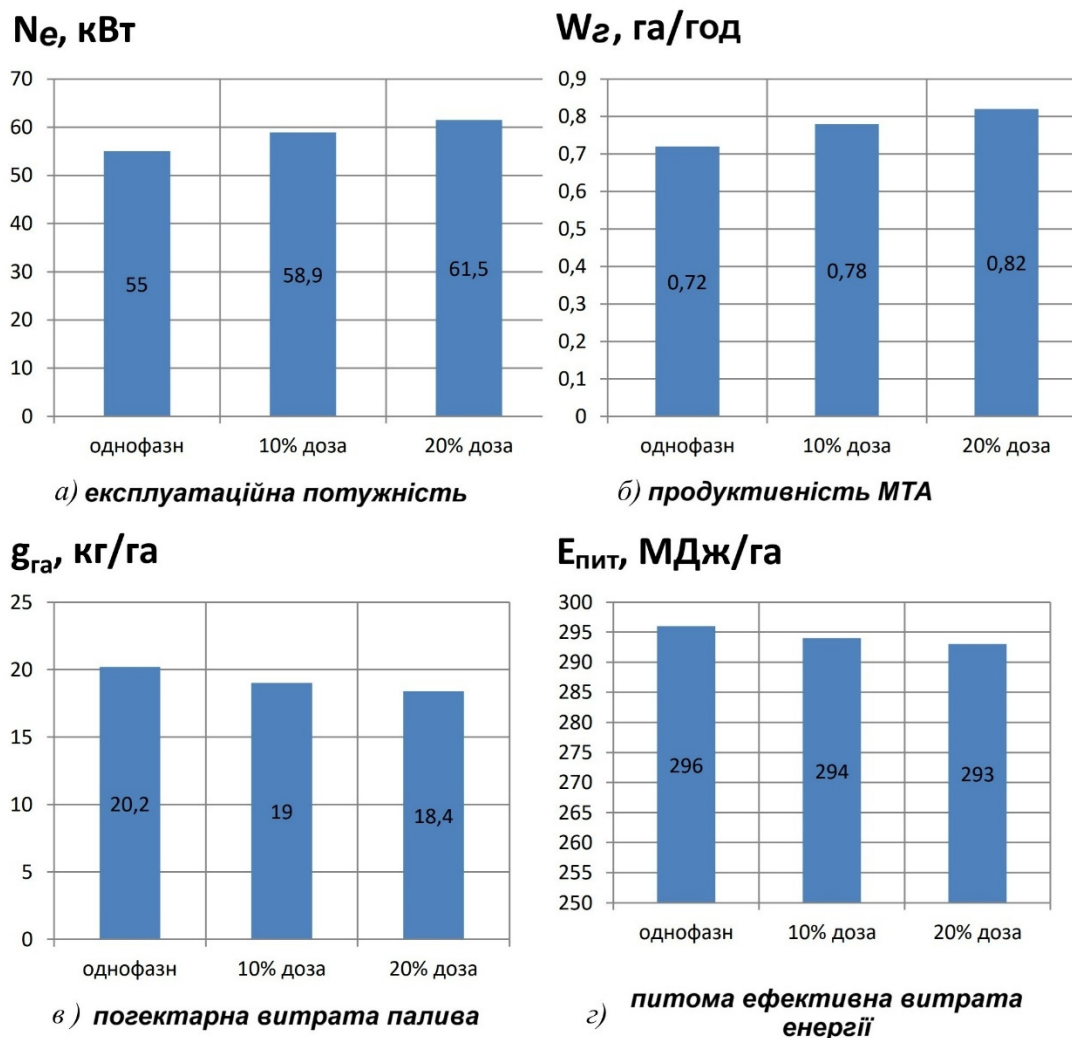


Рис. 3.18. Техніко-енергетичні показники трактора МТЗ-80.1 у складі орного МТА

Висновки по розділу.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА свідчать, що під час двофазного сумішоутворення з подачею 10%-вої та 20%-вої дози активатора (бензолу Е30) експлуатаційна потужність трактора зростає відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % і 14 %, погектарна витрата палива зменшується на 6 % і 9 %, а питомі ефективні витрати енергії знижуються на 2 % і 4 %.

ЗАГЛЬНІ ВИСНОВКИ

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 подачею палива. Електронна система упорскування паливного активатора виконана на базі мікроконтролерного блока керування, який містить двопозиційний перемикач, сконструйований із можливістю задавати мікроконтролеру режим роботи для забезпечення двох кількісних рівнів годинної подачі активатора (10 % або 20 %) за допомогою електромагнітних форсунок, а також клавіші для введення в програму мікроконтролера коефіцієнта корекції годинної подачі активатора, що вибирається в діапазоні від 0,7 до 1,3 з кроком 0,1 залежно від в'язкості та густини поданого активатора.

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

Результати стендових досліджень дизеля свідчать, що двофазне сумішоутворення з подачею 10%-вої дози активатора сприяє підвищенню ефективної потужності дизеля на 7–10 %, а за подачі 20%-вої дози – на 11–16 % залежно від виду активатора. При цьому вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах зменшується на 6–25 % у навантажувальних режимах та на 39–74 % - у безнавантажувальних режимах, що супроводжується незначним збільшенням концентрації оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах. Подача бензину АІ-92 як активатора забезпечує максимальне зростання потужності дизеля, використання етилового спирту C_2H_5OH дає найбільше покращення екологічних показників, а застосування бензанолу Е30 забезпечує найоптимальніше поєднання підвищення потужнісних та екологічних параметрів.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень трактора у складі орного МТА свідчать, що під час двофазного сумішоутворення з подачею 10%-вої та 20%-вої дози бензанолу Е30 експлуатаційна потужність трактора зростає відповідно на 7 % і 12 %, продуктивність МТА підвищується на 8 % і 14 %, погектарна витрата палива зменшується на 6 % і 9 %, а питомі ефективні витрати енергії знижуються відповідно на 2 % і 4 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бучок В. С., Ясюк В. Ф., Ковальчук В. О. Трактори і автомобілі. Київ : Аграрна освіта, 2008. 528 с.
2. Ільченко В. Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ : Урожай, 1993. 352 с.
3. Антоненко А. Ф., Недашківський Р. Ф. Комплексна система технічного обслуговування тракторів і автомобілів. Київ : Педагогічна преса, 2006. 320 с.
4. Агулов І. І., Вознюк Л. Ф., Левчій О. В. Довідник з технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Київ : Урожай, 1989. 496 с.
5. Пристапчук Л. С., Лук'янчук О. Ф., Карпенко В. М. Типові норми на механізовані сільськогосподарські роботи. Київ : Урожай, 1982. 280 с.
6. Кирса В. І., Деревець І. С., Потапенко М. Х. Технічна діагностика машин. Київ : Урожай, 1986. 240 с.
7. Сенчук М. М. Технічна експлуатація та діагностика енергетичних засобів. Біла Церква : БНАУ, 2006. 112 с.
8. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
9. Іванов Є. В. Експлуатаційні властивості тракторів. Луцьк : ЛНТУ, 2020. 148 с.
10. Янчук Я. Ю., Борисюк В. І., Колесник С. П. Трактори та автомобілі. Луцьк : ЛНТУ, 2017. 620 с.
11. Панченко А. І. Конструкція автотракторних двигунів. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 368 с.
12. Staton M., Harrigan T., Turner R. Improving Tractor Performance and Fuel Efficiency. Michigan : MSU Extension, 2010. 55 p.

13. Hanna H. M. Energy Management for Crop Production. Ames : Iowa State University, 2011. 84 p.
14. Bolotokov A. B. Improving the Fuel Efficiency of an Agricultural Tractor Diesel Engine. Paris : E3S Publications, 2023. 12 p.
15. Ivanov A. B. Improving the Energy Efficiency of Tractors in Agricultural Production. Paris : E3S Publications, 2023. 10 p.
16. Уханов А. П., Рыблов М. В. Двухфазное смесеобразование в тракторном дизеле: теория и эксперимент. Москва : Машиностроение, 2022. 152 с.
17. Ukhanov A. P. Two-Phase Mixing in a Tractor Diesel: Concepts and Solutions. Berlin : Technical Press, 2020. 74 p.
18. Пугач О. В. Підвищення ефективності дизельних двигунів тракторів і автомобілів. Харків : ХНАМГ, 2018. 204 с.
19. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York : McGraw-Hill, 2018. 960 p.
20. Reif K. Diesel Engine Management: Systems and Components. Berlin : Springer, 2014. 370 p.
21. Herranz-Matey I., Alemanno R., та ін. Tractor Productivity and Efficiency Evolution Analysis. Basel : MDPI, 2025. 18 p.
22. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
23. Савченко В.М., Диняк О.В., Заруцький С.О. Двофазне сумішоутворення в дизелі як спосіб поліпшення техніко-енергетичних показників трактора. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.
24. Савченко В.М., Диняк О.В. Огляд відомих технічних рішень для реалізації двофазного змішування в дизелях автотракторної техніки. Збірник тез

доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 476-480.

25. Диняк О.В. Огляд відомих технічних рішень для реалізації двофазного змішування в дизелях автотракторної техніки. Покращення техніко-економічних показників тракторів під час виконання сільськогосподарських операцій. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 20-23.