

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ДОМІНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ОЛЕГОВИЧ

УДК 620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка енергоефективної системи живлення біопаливом
дизельного двигуна**

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

_____В.О. Домінський

Керівник роботи

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Домінський Володимир Олегович. Розробка енергоефективної системи живлення біопаливом дизельного двигуна. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі було досліджено вплив виду палива (дизельне паливо та дизельне біопаливо на основі ріпакової олії) на викиди шкідливих речовин та парникових газів дизельним двигуном. Для дослідження було обрано двигун типу комонрей марки Renault dci K9K.

Під час експериментальних досліджень виявилось, що викиди, пов'язані з ефективністю згоряння палива (а саме CO і CH), більші при використанні дизельного біопалива. Це пояснюється головним чином фізико-хімічними властивостями палива. В'язкість та хімічні сполуки палива впливають на ефективність розпилення та час, необхідний для завершення процесу горіння. Тому дизельне біопаливо з цієї точки зору трохи гірше. З іншого боку, викиди таких шкідливих газів, як NO і CO₂, нижчі при використанні дизельного біопалива. На оксиди азоту впливає температура горіння палива в циліндрах двигуна, таким чином дизельне біопаливо, що має меншу температуру горіння, виробляє менше NOX. Викиди двооксиду карбону для біопалива вважаються нульовими, тобто вони не сприяють збільшенню концентрації CO₂ в атмосфері.

Ключові слова: дизельний двигун, дизельне біопаливо, викиди, парникові гази, газоаналізатор

ANNOTATION

Dominsky Vladimir Olegovich. Development of an energy-efficient biofuel supply system for a diesel engine. - *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The influence of fuel type (diesel fuel and diesel biofuel based on rapeseed oil) on emissions of harmful substances and greenhouse gases by diesel engine was investigated. A Renault dci K9K comonne engine was selected for the study.

Experimental studies have shown that emissions associated with fuel combustion efficiency (namely CO and CH) are higher when using diesel biofuels. This is mainly due to the physicochemical properties of the fuel. The viscosity and chemical compounds of the fuel affect the spray efficiency and the time required to complete the combustion process. Therefore, diesel biofuel from this point of view is slightly worse. On the other hand, emissions of harmful gases such as NO and CO₂ are lower when using diesel biofuels. Nitrogen oxides are affected by the combustion temperature of the fuel in the engine cylinders, so diesel biofuel, which has a lower combustion temperature, produces less NOX. Emissions of carbon dioxide for biofuels are considered zero, ie they do not increase the concentration of CO₂ in the atmosphere.

Keywords: diesel engine, diesel biofuel, emissions, greenhouse gases, gas analyzer

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСТАННІХ СВІТОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В ДВИГУНАХ	7
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1	10
РОЗДІЛ 2 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ	11
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ ТИПУ К9К	15
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	24

ВСТУП

З огляду на викиди вуглекислого газу через використання викопного палива, необхідне використання відновлюваних видів палива, зокрема дизельного біопалива, що отримують із рослинних олій. В процесі використання дизельного біопалива виникає ряд проблем, що обмежують його використання, це і його виробнича собівартість, це і значні обсяги рослинних олій. Проте застосування дизельного біопалива, наприклад в громадському транспорті чи у вантажоперевезеннях є доречним. Тому в науковій літературі з'являється багато досліджень із даної тематики, проте необхідно зауважити, що це питання ще недостатньо вивчене.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити рівень енергетичної та екологічної ефективності використання дизельного біопалива внаслідок удосконалення технічних засобів для його використання в автотракторних двигунах.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

Виконати аналіз, щодо доцільності використання дизельного біопалива в автотракторних двигунах;

розробити технічні засоби для використання дизельного біопалива в автотракторних двигунах;

провести дослідження екологічної ефективності розроблених технічних засобів;

Об'єкт дослідження: дизельний двигун внутрішнього згорання.

Предмет дослідження: взаємозв'язок параметрів елементів обладнання для використання дизельного біопалива в автотракторних двигунах з фізико-технологічними властивостями дизельного біопалива.

Методи дослідження: дослідження виконано з використанням методів механіки, гідравліки та теплотехніки. Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів теорії імовірності, математичної статистики.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Домінський В. О. Аналіз останніх світових досліджень використання дизельного біопалива в двигунах. Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 88–90.

2. Домінський В. О. Особливості використання дизельного біопалива в системах живлення common-rail. Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 208–210.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати дослідження спрямовані на вдосконалення використання дизельного біопалива в автотракторних двигунах. На основі проведеного дослідження розроблено пропозиції щодо удосконалення паливної системи дизельного двигуна К9К.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 24 сторінки комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 7 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСТАННІХ СВІТОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В ДВИГУНАХ

Коли досліджують енергетичний стан України, ти видно, що Україна на 70% залежить від зовнішніх енергетичних джерел та на 90% залежить від зовнішніх поставок рідких палив. Ця негативна ситуація призводить до необхідності прискорення заохочення місцевих ресурсів та диверсифікації джерел енергії. Енергетична безпека, яка є основною для цього дослідження, сьогодні стала надзвичайно актуальною для нашої країни [1]. Дизельне біопаливо може використовуватися як основне паливо для двигунів, воно також може бути використане як добавка до палива для зниження шкідливих викидів парникових газів [2].

Сьогодні лише 2% світового споживання палива задовольняється біопаливом. Основною причиною такої низької ставки є ризик, який може виникнути із дотриманням продовольчої безпеки. Збільшення виробництва дизельного біопалива із вороху олійних культур [3] може запобігти цьому. У світі проведено ряд досліджень в яких сировиною для виробництва дизельного біопалива були не їстівні аграрні відходи. Наприклад у Німеччині тракторні та автомобільні компанії брали участь у такому проекті Ростокського університету [4]. Якщо дизельне біопаливо використовувати в неадаптованих двигунах, воно може спричинити проблеми з насосом для вприскування палива, форсунками та камерою згоряння [5,6].

Потрібно привести дизельне біопаливо у відповідність з двигуном, для цього необхідно зменшити високий рівень вязкості та видалити залишки гліцерину [7]. Крім того необхідно нагрівати дизельне біопаливо перед подавання в двигун внутрішнього згоряння [9]. Це вимагає додаткових витрат,

але в країнах із відсутністю викопного палива виробництво дизельного біопалива є доречним [10].

В дослідженні [11] використовували суміш дизельного палива та біодизельного палива у пропорціях від 10% до 90%. Дослідження проходилися на двигунах із прямим впорскуванням паливної суміші. Було зазначено, що із запуском двигуна не було ніяких проблем. Однак виявлено погіршення механічних характеристик при роботі двигуна, зокрема падіння потужності. В роботі [12] було проаналізовано роботу двигуна на суміші дизельного палива та біодизеля із олії соняшника. В суміші було використано 25, 50 та 75% біопалива. Вивчався стан двигуна через кожні 200 год випробування. Негативного впливу на конструкцію двигуна відмічено не було.

В дослідження [13] відмічено, що якщо якісно виконана переетерифікація олії то значення кривих характеристик двигуна були близькими до значень кривих отриманих на класичних видах палива, та відбулося зменшення значень викидів вихлопних газів. Проте при низьких температурах (менше 5⁰С) спостерігалось загущування дизельного біопалива і як наслідок двигун не міг працювати.

В роботі [14] випробувано дизельне біопаливо на основі кукурудзяної олії, соняшникової олії та соєвої олії в одноциліндровому двигуні Lombardini 6LD 360. Встановлено що негативний вплив на роботу двигуна здійснює висока в'язкість олії. Дослідники в роботі [15] використовували кукурудзяну олію, соняшкову олію і соєве масло в дизельному двигуні (5,5 кВт). Під час їх дослідження щодо використання рослинні олії як альтернативного дизельного палива було зроблено висновки про негативний вплив чистої олії на роботу двигуна та стан його гумових деталей. В роботі [16] зазначено що олія повинна бути переетерифікована, з метою зменшення в'язкості та зменшення кислотного числа. В роботі [17] вивчено роботу 2-циліндрового дизельного двигуна (43 кВт). Встановлено, що питоме споживання біопалива збільшилося на 15% у

порівняння із класичним дизельним паливом. Проте спостерігалось зниження щільності вихлопних газів.

В дослідженні [18] в дизельному двигуні прямоговпорскування використовували дизельне біопаливо та водень. Характеристики двигуна були на високому рівні. Зафіксовано зменшення викидів на 26% СхНу та на 17% СО. Проте система живлення такого двигуна виявилася досить складною.

Також проаналізовані дослідження не дають чіткої відповіді на екологічні властивості двигуна, що працює на дизельному біопаливі у порівнянні із звичайним дизельним паливом.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

Виконаний аналіз нових світових досліджень свідчить, що дизельне біопаливо є цілком прийнятним для двигунів внутрішнього згорання. Проте його висока в'язкість та низька температура помутніння чи застигання потребує удосконалення системи живлення таких двигунів.

Необхідно також виконати дослідження щодо екологічності двигуна, що працює на дизельному біопаливі.

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

З огляду на викиди парникових та інших шкідливих газів, замість використання класичного дизельного палива альтернативою є використання дизельного біопалива, яке отримують з рослинних олій. Дизельне біопаливо було достатньо апробовано та перевірено в минулі роки і його властивості достатньо схожі до властивостей класичного дизельного палива. Зважаючи на схожість фізико-хімічних властивостей дизельне біопаливо можна використовувати як у сумішах так і окремо. Крім дизельного біопалива що отримано методом переетерифікації, також можуть використовуватися біодизельні палива, що отримані за допомогою гідротермічного перетворення, або така званій HVO-дизель. Основними проблемами, що виникають, в процесі виготовлення та використання дизельного біопалива, є більша ніж у класичного палива собівартість, тому для економічної доцільності виробництва дизельного біопалива палива необхідні масштаби, а це обмежує розвиток такого виробництва в малих підприємствах. Проте використання HVO-дизеля як палива дозволить спростити його використання та спростить його виробництво [1].

Використання HVO-дизеля дозволить значно зменшити викиди парникових газів від дизельних транспортних засобів, а також до значно зменшить використання викопних палив. Крім того, зважаючи на, доступність чи обмеженість вирощування олійних культур, дизельне біопаливо може розглядатись як альтернатива паливу лише із значними обмовками. Проте доцільність використання дизельного біопалива, може мати актуальність у

громадському транспорті та вантажних перевезеннях. Необхідно відмітити, що використання дизельного біопалива в сучасних автомобільних дизельних двигунах ще недостатньо досліджене. Тому я вважаю, що доречним є вивчення питання викидів парникових газів із дизельних двигунів, що працюють на звичайному дизельному паливі, на дизельному біопаливі, що отримано методом переетерифікації та HVO-дизелі [1].



Рис. 2.1. Загальний вигляд двигуна Renault dci K9K

Науковцями встановлено, що фактично на якісні показники роботи двигуна має вплив в'язкість, зокрема встановлено, що чим більша в'язкість, тим більша імовірність відмов в паливній системі двигуна. Крім того, збільшена в'язкість палива може стати причиною утворення агломератів у робочих областях дизельного двигуна. З огляду на фізичні властивості в'язкість значно зменшується при збільшенні температури, зокрема науковцями [2, 3, 5] досліджено вплив попереднього нагрівання палива для зменшення в'язкості. Для

отримання в'язкості дизельного біопалива у відповідності до в'язкості дизельного палива необхідно досягнути температури палива у діапазоні 90...110 °С, тобто таку температуру повинна забезпечувати паливна система двигуна [1].

В нашій роботі пропонується дослідити, щодо викидів перспективну систему паливоподачі для дизельного двигуна типу Renault dci K9K (рис. 2.1). Це є чотиритактний турбований двигун. Такий двигун, має спеціальний електронний блок керування [1].

Перспективна система паливоподачі містить два баків (для дизельного палива та дизельного біопалива), причому паливний бак для дизельного біопалива оснащений спеціальним насосом, нагрівачами та приладами для вимірювання реальної температури дизельного біопалива (рис. 2.2) [1].

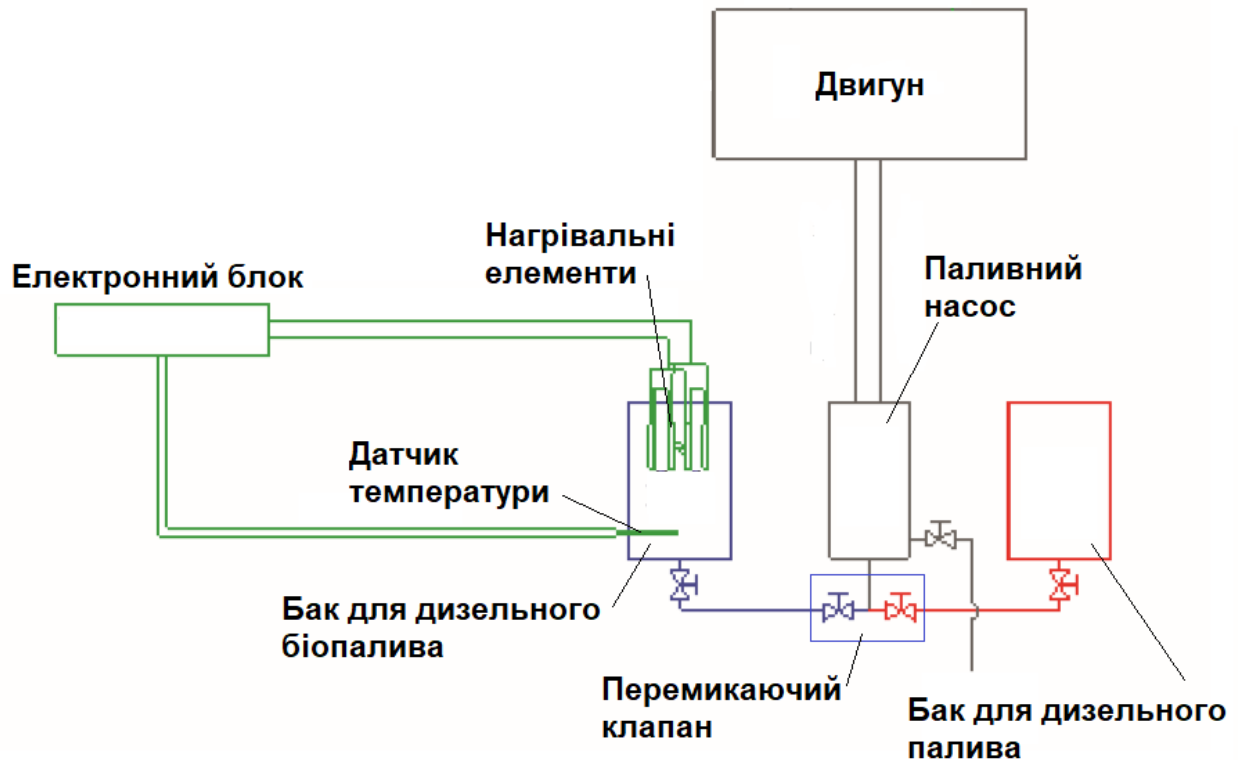


Рис. 2.2. Перспективна система паливоподачі для дизельних двигунів типу common-rail [1]

Додатковий насос поєднаний із спеціальним клапаном для перемикання подачі в двигун дизельного палива або дизельного біопалива. Обидва баки містять фільтром для тонкої очистки палива, для баку дизельного палива - це мікрОВОлокнистий паперовий фільтр. Бак для дизельного біопалива оснащений спеціальним пластиковим фільтром. Температуру всередині бака для дизельного біопалива контролює спеціальний електронний блок типу Gefran 1000, призначення якого полягає в контролі температури палива та увімкнення чи навпаки відключення нагрівальних елементів в баку [1].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ ТИПУ К9К

Для дослідження процесу роботи дизельного двигуна на дизельному біопаливі було використано автомобіль Renault Kangoo 2, оснащений двигуном К9К, який було встановлено на спеціальному динамометричному стенді (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Автомобіль оснащений двигуном К9К на динамометричному стенді

Для вимірювання концентрації монооксиду карбону (CO), сполук карбону і водню (C_xH_y), сполук азоту і кисню (NO_x) було використано газоаналізатор Инфракар-М2Т (рис. 3.2), із діапазоном вимірювання концентрації CO в межах $0 \dots 7 \%$, C_xH_y межах $0 \dots 3000 \text{ ppm}$, NO_x у межах

0...5000 rpm. У газоаналізаторі є також канали для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигунів автомобілів.



Рис. 3.2. Газоаналізатор Инфракар-М2Т

Імітація позаміського циклу роботи двигуна повторювалася чотири рази для дизельного палива та біодизельного палива, потім виміряні значення були усереднені. Тому на рис. 3.3 – рис. 3.5 показано середні викиди забруднюючих речовин. Дослідження імітувалося для руху на прямій ділянці дороги, швидкість руху вважалася відповідною до частоти обертання колінчастого вала двигуна (рис.3.2) і відповідала встановленню передачі на коробці передач: 1-ша передача – 10 км/год (1400 об/хв), 2-га передача 40 км/год (1600 об/хв), 3-тя передача 70 км/год (1800 об/хв), 4-та передача 90 км/год (2000 об/хв), 5-та передача 110 км/год (2200 об/хв).

В процесі проведення досліджень використовували дизельне біопаливо на основі ріпакової олії та дизельне паливо із властивостями, що наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Властивості палива

Назва властивості	Дизельне паливо	Дизельне біопаливо
Цетанове число	45	51
Густина, кг/м ³	860	860
Кінематична в'язкість, мм ² /с	6,0	3,5
Вміст води, мг/кг	52	150
Вміст сірки, % не більше	0,288	0,001
Температура спалаху, °С	40	120
Температура загусання, °С не вище	-5	+5
Питома теплота згорання, МДж/кг	42,5	37,1– 37,8

Як показано на рис. 3.3, тенденції викидів СО для двох видів палива не є однаковими. Крива для дизельного палива починається з малого значення (0,1% загально об'єму викидів), збільшується до свого максимуму (близько 0,15%) при першій, другій та третій передачах, а потім зменшується до 0,1 при четвертій передачі 0,0 при 5-й. Навпаки, крива для дизельного біопалива трохи більш жорстка: вона починає утворювати приблизно 0,33% викидів при першій передачі, зменшується до приблизно 0,8 при другій, потім зменшує до максимального значення (0,35 при третій), а потім зменшується до приблизно 0,17 при четвертій та 0,1 при п'ятій. У будь-якому випадку викиди СО більші для дизельного біопалива. Це можна пояснити кількома причинами, серед яких дві можуть відігравати головну роль: в'язкість палива та хімічні характеристики.

Навіть при 90° С в'язкість дизельного біопалива приблизно вдвічі перевищує в'язкість дизельного палива при тій же температурі, і це, звичайно, впливає на процес впорскування, оскільки чим більше в'язкість, тим складніше розпилення палива. Гірше розпилення, в свою чергу, призводить до гіршого згорання, отже, більших викидів CO. Інший аспект, який слід враховувати, полягає в тому, що дизельне біопаливо складається з довгих ланцюгів вуглецевих сполук, яким потрібний час для розриву. Оскільки згорання в системі комонрей є швидким процесом, ймовірно, дизельне біопаливо не має достатньо часу для розриву цих ланцюгів вуглецевих сполук.

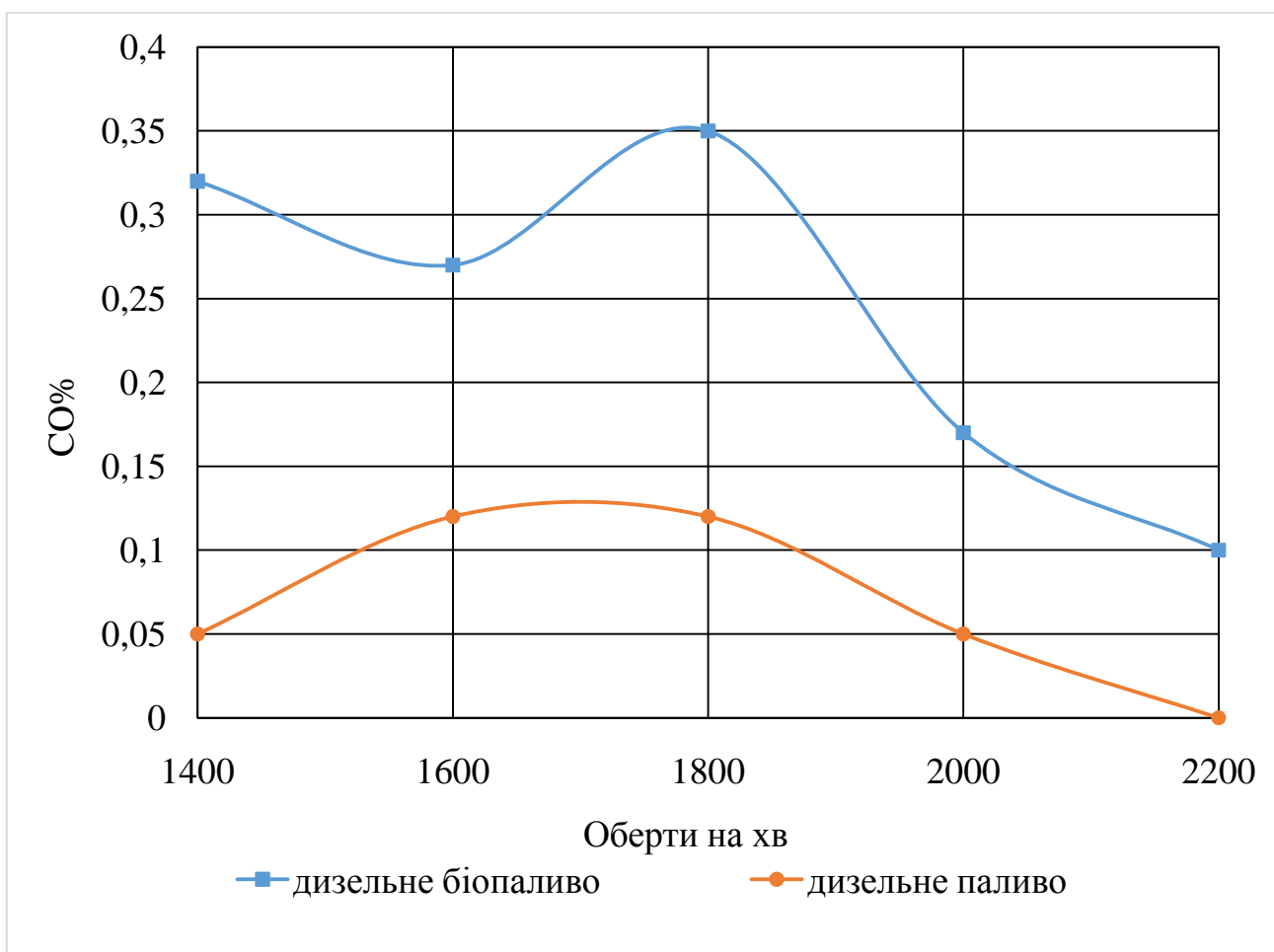


Рис. 3.3. Динаміка викидів CO (монооксиду карбону)

Це підтверджується також викидами C_xH_y (рис. 3.4). Незгорілі вуглеводні є наслідком поганого або неповного згоряння. Вуглеводневі викиди при використанні біопалива більші, ніж викиди при використанні дизельного палива до третьої передачі, тоді вони стають меншими. Ця тенденція може бути зумовлена експлуатаційними умовами двигуна, тобто температурою двигуна, температурою дизельного біопалива тощо, і на даний момент вона знаходиться на стадії дослідження.

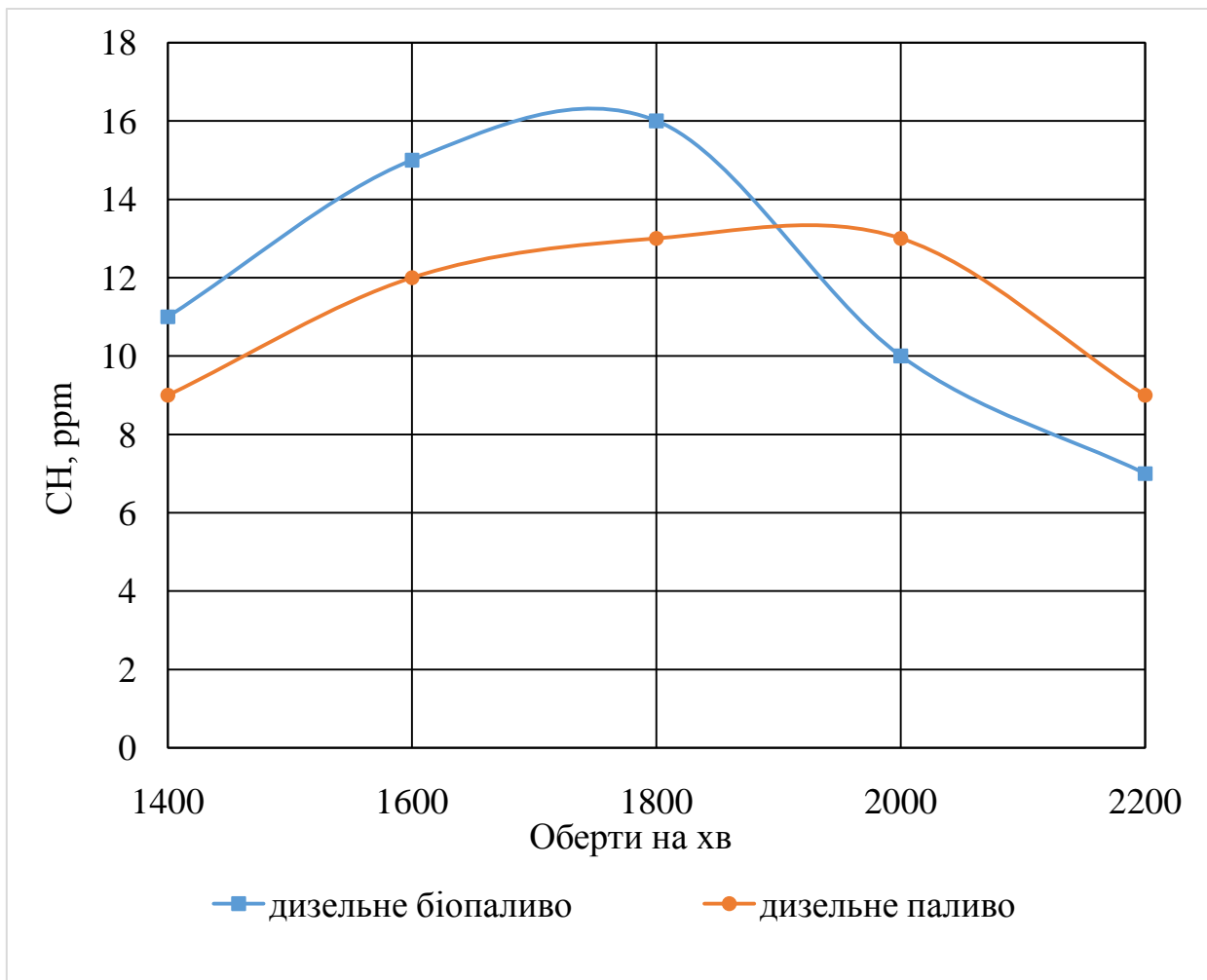


Рис. 3.4. Динаміка викидів C_xH_y (сполук карбону і гідрогену)

Викиди NO представлені на рис. 3.5. Тенденції щодо дизельного біопалива та дизельного палива схожі, але дизельне біопаливо виробляє менше (приблизно

вдвічі) викидів NO. Це узгоджується з даними, доступними в літературі (наприклад, [19, 20, 21]) і це пов'язано з теплотворною здатністю двох видів палива.

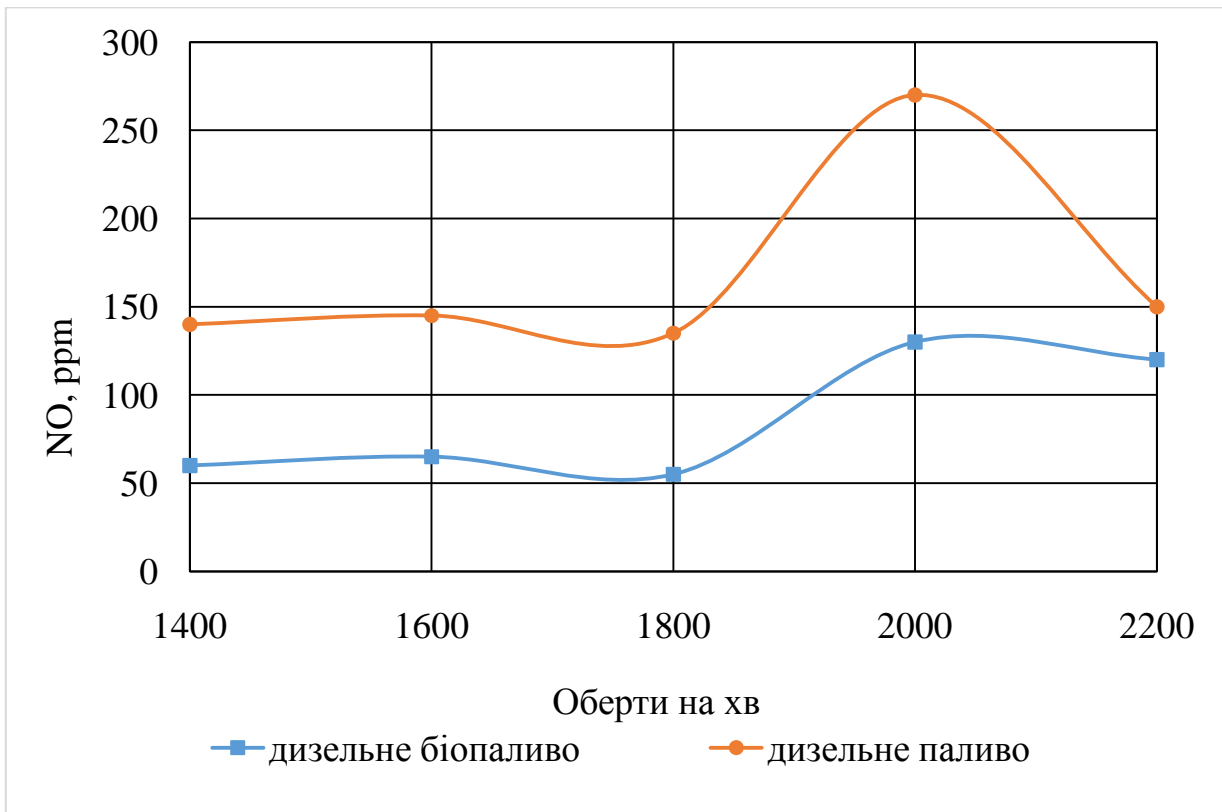


Рис. 3.5. Динаміка викидів NO (сполук азоту і кисню)

Дизельне біопаливо має меншу теплоту згоряння, що призводить до меншої пікової температури під час горіння. Це, в свою чергу, призводить до меншої активності механізму теплового утворення NO, який є основною причиною викидів NO_x в двигуні внутрішнього згоряння.

З огляду на викиди вуглекислого газу (CO₂) слід відмітити, що саме він є головним фактором парникового ефекту, що є причиною того, що обмеження викидів стають все вищі. Варто зазначити, що використання біопалива не збільшує концентрацію CO₂ в атмосфері, оскільки при використанні біопалива не виділяти більше CO₂, ніж поглинається протягом життєвого циклу рослин, з

яких це біопаливо вироблено. Отже, з точки зору парникового ефекту, шкода від дизельного біопалива відсутня.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Викиди CO вищі для дизельного біопалива. Це можна пояснити тим, що в'язкість дизельного біопалива приблизно вдвічі перевищує в'язкість дизельного палива при тій же температурі, і це впливає на процес впорскування палива в циліндри, оскільки чим більше в'язкість, тим гірше розпилення палива. Гірше розпилення, в свою чергу, призводить до гіршого згорання, отже, більших викидів CO. Інший аспект, який слід враховувати, полягає в тому, що дизельне біопаливо складається з довгих ланцюгів вуглецевих сполук, яким потрібний час для розриву. Оскільки згорання в системі комонрей є швидким процесом, ймовірно, дизельне біопаливо не має достатньо часу для розриву цих ланцюгів вуглецевих сполук.

Дизельне біопаливо виробляє менше (приблизно вдвічі) викидів NO. Дизельне біопаливо має меншу теплоту згорання, що призводить до меншої пікової температури під час горіння. Це, в свою чергу, призводить до меншої активності механізму теплового утворення NO, який є основною причиною викидів NO в двигунах внутрішнього згорання.

Варто зазначити, що використання біопалива не збільшує концентрацію CO₂ в атмосфері, оскільки при використанні біопалива не виділяти більше CO₂, ніж поглинається протягом життєвого циклу рослин, з яких це біопаливо вироблено. Отже, з точки зору парникового ефекту, шкода від дизельного біопалива відсутня.

ВИСНОВКИ

В роботі було досліджено вплив виду палива (дизельне паливо та дизельне біопаливо на основі ріпакової олії) на викиди шкідливих речовин та парникових газів дизельним двигуном. Для дослідження було обрано двигун типу комонрей марки Renault dci K9K.

Під час експериментальних досліджень виявилось, що викиди, пов'язані з ефективністю згорання палива (а саме CO і CH), більші при використанні дизельного біопалива. Це пояснюється головним чином фізико-хімічними властивостями палива. В'язкість та хімічні сполуки палива впливають на ефективність розпилення та час, необхідний для завершення процесу горіння. Тому дизельне біопаливо з цієї точки зору трохи гірше. З іншого боку, викиди таких шкідливих газів, як NO і CO₂, нижчі при використанні дизельного біопалива. На оксиди азоту впливає температура горіння палива в циліндрах двигуна, таким чином дизельне біопаливо, що має меншу температуру горіння, виробляє менше NO_x. Викиди двооксиду карбону (вуглекислого газу) для біопалива вважаються нульовими, тобто вони не сприяють збільшенню концентрації CO₂ в атмосфері.

Подальші розробки повинні бути направлені на розроблення електронного блоку управління, щоб краще зрозуміти поведінку двигуна та спробувати оптимізувати його роботу, з тим, щоб мінімізувати всі викиди забруднюючих речовин без зниження продуктивності двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Домінський В. О. Особливості використання дизельного біопалива в системах живлення common-rail. Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 208–210.
2. M. Mofijur, M.G. Rasul, J. Hyde, A.K. Azad, R. Mamat, M.M.K. Bhuiya. Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 53. P. 265-278.
3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
4. R. Sakthivel, K. Ramesh, R. Purnachandran, P. Mohamed Shameer. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 82, Part 3. 2018, P. 2970-2992. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.037>.
5. Baskar,G., Aiswarya R. Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 57. 2016. P.496–504.
6. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець]. – К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
7. Ehsan M., Tofajjal H. Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study. *Procedia Engineering*. Vol. 105. 2015. P. 638–645.
8. Біодизель та біоеталон. Модуль. / [В.А.Дубровін, Г.А.Голуб, В.М.Поліщук, К.М.Сера, О.А.Марус, С.В.Драгнев, М.Ю.Павленко, В.В.Чуба,

С.М.Кухарець]. – UNIDO, 2015. – 54 с.

9. Rahmat B., Setiasih I., Kastaman R. Biodiesel Reactor Design with Glycerol Separation to Increase Biodiesel Production Yield. *Makara Journal of Technology*. Vol. 17(1)/ 2016. P.11-16.

10. Brásioa, A., Romanenko, A., Santosa, L., Fernandes, N. Modeling the effect of mixing in biodiesel production. *Bioresource Technology*. Vol. 102(11). P. 2017. P. 6508–6514.

11. Кухарець С.М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи: монографія / С.М. Кухарець – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 192 с.

12. Poppea J., Fernandez-Lafuente R., Rodriguesa R., Ayuba M. Enzymatic reactors for biodiesel synthesis: Present status and future prospects. *Biotechnology Advances*. Vol. 33(5). 2015. P.511–525.

13. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві: навчальний посібник / [Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. та ін.]; за ред. Г.А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – 229 с.

14. Alamsyah R., Loebis H. Design and Technical Testing for Crude Biodiesel Reactor Using Dry Methods: Comparison of Energy Analysis. *Energy Procedia*, Vol. 47/ 2015. P. 235-241.

15. Скидан О.В., Голуб Г.А., Кухарець С.М. Ярош О.Д., Чуба В.В., Медведський О.В., Цивенкова Н.М., Соколовський О.Ф., Кухарець В.В. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві. За ред. О.В. Скидна і Г.А. Голуба. Київ, НУБіП України. 2018. 338 с.

16. Man X., Cheung C, Ning Z. Effect of Diesel Engine Operating Conditions on the Particulate Size, Nanostructure and Oxidation Properties when Using Wasting Cooking Oil Biodiesel. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 66. P. 37-40.

17. Jiaqiang E, Minhhieu Pham, D. Zhao, Yuanwang Deng, DucHieu Le, Wei Zuo, Hao Zhu, Teng Liu, Qingguo Peng, Zhiqing Zhang. Effect of different

technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80. P. 620-647. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.250>.

18. Md Ehsan, Md Tofajjal Hossain Chowdhury. Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study. In *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 105. P. 638-645.

19. Виробництво і використання біопалив в агроєкосистемах. Механіко-технологічні основи : монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. Київ : НУБіП України, 2018. 254 с.

20. Corsini A., Giovannoni V., Nardecchia S., Rispoli F., Sciulli F., Venturini P., Performance of a common-rail Diesel engine fuelled with rapeseed and waste cooking oils. In *Proceedings of ECOS 2012 – The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation of Environmental Impact of Energy Systems*, June 26-29, Perugia, Italy.

21. Домінський В. О. Аналіз останніх світових досліджень використання дизельного біопалива в двигунах. Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 88–90.