

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут новітніх освітніх технологій
Кафедра транспорту і логістики

КАРПОВИЧ Владислав Васильович

Дослідження основних техніко-економічних характеристик роботи дизельних двигунів при використанні альтернативних видів палива /
Study of the main technical and economic characteristics of diesel engines when using alternative types of fuel

спеціальність: 274 - Автомобільний транспорт
освітньо-професійна програма - Автомобільний транспорт

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи ТАзм-21
В. В. Карпович

Науковий керівник:
І. О. Лоїк

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:

"__" _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ П. В. Попович

ТЕРНОПІЛЬ - 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ	6
1.1. Альтернативні види палива	6
1.2. Дослідження стану використання біопалива для системи живлення дизельних двигунів	7
Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА	14
2.1. Дослідження екологічних характеристик дизельного двигуна, що працює на біопаливі	14
2.2. Оцінка екологічних характеристик дизельного двигуна при його роботі на різних видах палива	17
2.3. Дослідження характеристик палива з метою встановлення параметра для оцінки елементного складу суміші	20
Висновки до розділу 2	26
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	28
3.1. Розробка моделі витрат палива дизельними двигунами при переході на альтернативні види палива	28
3.2. Розробка рекомендацій стосовно проведення діагностики дизельного двигуна під час використання біопалив	41
Висновки до розділу 3	49
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення екологічності транспортних засобів можна забезпечити за рахунок використання альтернативних видів палива. Альтернативні види палива, окрім підвищення екологічних показників транспортних засобів, мають задовольняти низку вимог: не погіршувати технічні характеристики двигунів, володіти низькою вартістю тощо.

Використання біопалива як альтернативного палива традиційному дизелю забезпечує з однієї сторони зниження викидів токсичних речовин, а з іншої – такого роду пальне є відновлюваним видом палива, а його застосування дозволяє зберегти баланс CO₂. Відомим є той факт, що в процесі використання біопалива відбувається не лише зменшення викидів сажі, а й спостерігається зменшення дисперсності сажових часточок. Останнє може забезпечувати більш повне їх вигорання із каталітичних нейтралізаторів, а зменшення викидів твердих часточок дозволяє забезпечити більшу стабільність роботи дизельних двигунів.

Дослідження питань використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів розглядалися у роботах

Анісімов В. Ф., Бойченко С. В., Бурлака С. А., Войцехівська Т. Й., Галушак О. О., Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Мельник В. М., Наумчук Г. О., П'ясецький А. А., Рябошапка В. Б., Семенов В. Г., Сумер А. Р., Яковлева А. В., Яцковський В. І. та інших.

Мета дослідження. Дослідження ефективності використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів.

Об'єктом дослідження є процес роботи дизельних двигунів на альтернативних видах палива

Предметом дослідження є техніко-економічні характеристики роботи дизельних двигунів при використанні альтернативних видів палива.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі було використано наступні методи:

гіпотетичний, у процесі формування наукової гіпотези щодо ефективності використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів;

аналізу та синтезу, під час дослідження основних техніко-економічних характеристик роботи дизельних двигунів при використанні альтернативних видів палива.

Апробація

Карпович В.В., Мартинюк Р.М., Розум Р.І. та інші. Дослідження впливу використання біопалива на екологічні та технічні характеристики дизельних двигунів. Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: Міжнар. наук.-практ. конф., 22-24 листоп. 2023 р., м. Кропивницький: зб. матер. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та рем. машин. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – С.216-217.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

1.1. Альтернативні види палива

Підвищення екологічності транспортних засобів можна забезпечити за рахунок використання альтернативних видів палива. Альтернативні види палива, окрім підвищення екологічних показників транспортних засобів, мають задовольняти низку вимог: не погіршувати технічні характеристики двигунів, володіти низькою вартістю тощо.

До альтернативних видів моторних палив відносять:

1. Газові палива природного походження (зріджений і стиснутий газ).
2. Синтетичні палива (біопалива тваринного та рослинного походження; усі види синтетичних спиртів; газовий конденсат; диметиллові ефіри (ДМЕ); водень та інші).
3. Вторинні ресурси, що виникають в процесі переробки рідких і твердих палив.

Масове застосування переважної більшості альтернативних видів моторних палив є обмежене, що пояснюється наступними причинами:

- важкістю зберігання (водень);
- високою токсичністю (метанол, газовий конденсат);
- значним погіршенням техніко-економічних характеристик двигунів.

Найбільшими перспективами, на нашу думку, серед альтернативних видів палива для дизельних двигунів володіє біопаливо, що одержується із жирів тваринного походження та рослинних олій, перш за все – метилові ефіри. Такого роду паливо одержують із поновлюваних видів природних ресурсів, у зв'язку з чим, при його застосуванні забезпечується дотримання

балансу CO₂. З метою виробництва біопалива в нашій державі доцільним є застосування ріпакової олії.

Отримані із ріпакової олії метилові ефіри можна змішувати з традиційними видами дизельного палива (одержаного із нафти) у різних пропорціях від незначних кількостей аж до повного заміщення.

1.2. Дослідження стану використання біопалива для системи живлення дизельних двигунів

Дослідження літературних джерел [4, 9, 11, 12, 14 та інші] показало, що в процесі застосування біопалив як у чистому вигляді, так і у вигляді домішок у дизельному пальному відмічається зменшення кількості продуктів неповного згоряння, одним із яких є сажа, яка є основним джерелом забруднення каталітичних нейтралізаторів.

Слід відмітити, що під час застосування біопалив необхідно приділяти увагу до можливого зростання концентрації викидів оксиду азоту. Підвищення кількості оксиду азоту зумовлюється зростанням температури згоряння паливної суміші у циліндрах двигуна через більш повне згоряння біопалив.

Зменшити кількість викидів оксиду азоту можливо за рахунок зменшення величини кута випередження впрыску палива. Разом з тим, з метою зменшення викидів оксиду азоту є можливим за рахунок застосування спеціальних систем нейтралізації та рециркуляція відпрацьованих газів.

Використання біопалива на базі олій проходить за наступними напрямками:

- безпосереднє застосування олій як палива;
- застосування олій у вигляді домішок до традиційного дизельного палива;

- використання продуктів перетерифікації олій (метилових ефірів);
- застосування метилових ефірів як складової бінарних паливних сумішей із дизельним паливом.

У першому випадку, під час безпосереднього застосування олій як палива, якщо не було проведено конструкційних змін у дизельному двигуні, відбуваються значні відкладення нагару як у камерах згоряння так і у каналах впорскування. Що, в свою чергу, зумовлює швидку втрату роботоздатності двигуна. З метою забезпечення нормальної роботи дизельних двигунів, при використанні рослинних олій у якості палива, необхідно вносити зміни у їх конструкцію. Дані зміни, перш за все, відносяться до конструкції камер згоряння, а також конструкції головок форсунок.

У другому випадку, при застосуванні олій у вигляді домішок до традиційного дизельного палива, спостерігається, що при підвищенні об'ємної частки рослинних олій відбувається підвищення витрати паливної суміші. Найменшим показником підвищення витрат палива спостерігається під час використання ріпакової олії у вигляді домішок. В процесі опитування автовласників, що використовували традиційне дизельне паливо та паливну суміш, яка містила 15 % ріпакової олії, встановлено, що не відчувається різниці у стабільності роботи дизельного двигуна. У випадку підвищення вмісту ріпакової олії до 30 % у паливній суміші відбувалися перепади частоти обертання колінчастого валу.

У випадку, застосування як домішок до дизельного палива метилових ефірів рослинних олій, відпадає необхідність значних змін конструкції дизельних двигунів. Однак такого роду біопаливо, у порівнянні із традиційним дизельним паливом, характеризується підвищеною густиною та в'язкістю, що, в свою чергу, зумовлює зміни характеристик його впорскування та розпилу. Відбувається зростання величини краплини палива, зростає довжина факелу, зменшується кут розпилу паливної суміші.

Що викликає зростання долі приповерхневого сумішоутворення, зниження температури стінок камери згоряння, а отже погіршення характеристик роботи двигуна в цілому. З іншої сторони, молекули олійних метилових ефірів, що є складовою біопалива містять атомарний кисень, присутність якого забезпечує більш повне згоряння паливної суміші.

У роботах Васильєва І.П. відображаються результати проведених ним досліджень вихрокамерного дизельного двигуна під час переведення його роботи на один циліндр. Аналіз даних досліджень показує, що по мірі підвищення вмісту біопаливної компоненти в бінарній суміші, відбувається зростання ККД двигуна. Також, відбувається зниження кількості продуктів неповного згоряння та підвищення викидів оксиду азоту. Необхідно відзначити, що навіть при додаванні 5 % домішок до складу дизельного палива зумовлює вплив на характеристики роботи двигуна – ККД підвищується майже на 2 %.

Так при використанні чистого біопалива, у дослідженнях Васильєва І.П., відбулося підвищення показника ККД дизельного двигуна на 6,7 %, із одночасним зниженням викидів оксиду вуглецю на 40 %, а вуглеводнів – 85 %. Однак відбулося підвищення викиду оксиду азоту на 20 %.

У роботах Семенова В.Г. [26 – 28] була зроблена низка досліджень щодо того як впливає вид сумішоутворення на характеристики роботи дизельного двигуна в процесі його роботи на біопаливі та їх порівняння із роботою на традиційному дизельному паливі. Дані дослідження показали, що вищі показники зменшення викидів продуктів неповного згоряння в процесі роботи двигуна на біопаливі були помічені на двигунах, що мають розділену камеру згоряння.

Семенов В.Г. робить припущення, що за допомогою вихрокамерного сумішоутворення можна нівелювати недоліки сумішоутворення, що виникають при безпосередньому впорскуванні, у випадку використанні біопалива, а саме: підвищення далекобійності паливного факела й зростання величини середнього діаметру крапель самого палива, наслідком чого є

зростання долі приповерхневого сумішоутворення при зниженій температурі стінок камери згоряння. Даного ефекту досягається за рахунок інтенсивного перемішування біопаливної суміші та підігріву її від стінок вихрової камери, що, в свою чергу, забезпечує активізацію впливу атомарного кисню, що знаходиться у біопаливі (приблизно до 10 %) із воднем та вуглецем. Після чого біопаливна суміш надходить у високоінтенсивний повітряний вихор та згоряє.

Слід відмітити, що у вигляді сировини для виготовлення біопалива можуть бути використані різного роду жири як рослинного так і тваринного походження. Одержане із різних видів сировини біопаливо володіє і різним складом жирних кислот. Аналіз впливу складу жирних кислот на характеристики палива та показники роботи дизельних двигунів були зроблені у дослідженнях Семенова В.Г. [26 – 28]. З метою дослідження впливу елементного складу та жирних кислот, що містяться у біопаливі, на екологічні характеристики дизельних двигунів були використані наступні види біопалива: рослинного походження – метилові ефіри соєвої та ріпакової олій, а також тваринного походження – яловичий жир. Проведенні дослідження показали, що в процесі роботи дизельних двигунів на біопаливі тваринного походження, у порівнянні із біопаливом рослинного походження, відбувається зменшення ККД дизельного двигуна і зростання викидів оксиду вуглецю. Дане явище пояснюється тим, що у біопаливі рослинного походження наявний підвищений вміст атомів вуглецю, що, у свою чергу, проводить зміну загального балансу хімічних реакцій, при якх проходить процес згоряння палива в ДВЗ.

Найвищі показники викидів сажі у відпрацьованих газах були відмічені в процесі роботи дизельних двигунів на біопаливі з ріпакової олії, що пояснюється найбільшою наявністю вуглецю, а також найменшим вмістом кисню.

Окрім цього, дані дослідження показали, що в процесі роботи дизельного двигуна на біопаливі із ріпакової олії, у порівнянні із

традиційним дизельним паливом, відбувається зростання викидів оксидів азоту до 11 %; при роботі на біопаливі із яловичого жиру – зменшується на 8 %; а при роботі на біопаливі із соєвої олії – практично залишається однаковим. Подібна тенденція відмічається і з показником ККД: у порівнянні із традиційним дизельним паливом, у процесі роботи дизельного двигуна на біопаливі із ріпакової олії відбувається його зростання на 5 %; при роботі на біопаливі із яловичого жиру – зниження на 3 %; при роботі на біопаливі із соєвої олії – не змінюється.

Отже, як бачимо, концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах, у порівнянні із традиційним дизельним паливом, при використанні біопалива має тенденцію як зростати так і зменшуватися, все залежить від повноти згоряння і якості сумішоутворення.

У своїх роботах Іващенко Н.А, Марків В.А., Єфанов А.А та інші проводять узагальнення результатів досліджень різних науковців і формують оптимізаційні моделі складу біопалива в залежності від економічних та екологічних показників.

Говоруном А.Г. проведена низка досліджень щодо можливості застосування біопалив і його добавок у дизельне паливо для сучасних дизельних автомобільних двигунів оснащених турбонаддувом.

Слід відмітити, що крім бінарних сумішей традиційного дизельного палива з біопаливом, проаналізованих вище, можливе застосування і трикомпонентних сумішей. Так, згідно із дослідженнями Говоруна А.Г. додавання гасу до суміші дизельного палива з біопаливом забезпечує одержання суміші наближеної по своїх характеристиках до значень традиційного дизельного палива. Додавання до суміші дизельного палива з біопаливом етилового чи метилового спиртів забезпечує покращення екологічних характеристик, враховуючи і зниження кількості викидів оксиду азоту, однак така суміш викликає зменшення цетанового числа, що в свою чергу – зумовлює підвищення жорсткості роботи самого двигуна.

У зв'язку з цим, у випадку застосування спиртів у вигляді добавок до дизельного палива потрібно використовувати одночасно і спеціальні присадки, які забезпечують зростання цетанового числа.

У мережі інтернет, можна знайти велику кількість рекомендацій щодо переобладнання та налаштування дизельних двигунів для їх «нормальної» роботи на біопаливі чи його сумішах.

Впродовж останнього часу можемо побачити, що науковці і дослідники здійснюють пошук різних шляхів зниження автомобільних викидів, а отже зменшення антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Відбуваються роботи щодо вдосконалення конструкцій автомобільних двигунів запроваджено використання каталітичних нейтралізаторів тощо. Інколи, деякі науковці стверджують, що такого роду заходів щодо збереження навколишнього природного середовища. Однак, необхідно відмітити, що використання біопалива як альтернативного палива традиційному дизелю забезпечує з однієї сторони зниження викидів токсичних речовин, а з іншої – такого роду пальне є відновлюваним видом палива, а його застосування дозволяє зберегти баланс CO₂.

Відомим є той факт, що в процесі використання біопалива відбувається не лише зменшення викидів сажі, а й спостерігається зменшення дисперсності сажових часточок. Останнє може забезпечувати більш повне їх вигорання із каталітичних нейтралізаторів, а зменшення викидів твердих часточок дозволяє забезпечити більшу стабільність роботи дизельних двигунів.

Висновки до розділу 1

Отже, як висновок можна сказати, що підвищення екологічності транспортних засобів можна забезпечити за рахунок використання альтернативних видів палива. Альтернативні види палива, окрім підвищення екологічних показників транспортних засобів, мають задовольняти низку вимог: не погіршувати технічні характеристики двигунів, володіти низькою вартістю тощо. До альтернативних видів моторних палив відносять: газові палива природного походження (зріджений і стиснутий газ); синтетичні палива (біопалива тваринного та рослинного походження; усі види синтетичних спиртів; газовий конденсат; диметиліві ефіри (ДМЕ); водень та інші); вторинні ресурси, що виникають в процесі переробки рідких і твердих палив.

Масове застосування переважної більшості альтернативних видів моторних палив є обмежене, що пояснюється наступними причинами: важкістю зберігання (водень); високою токсичністю (метанол, газовий конденсат); значним погіршенням техніко-економічних характеристик двигунів.

Використання біопалива як альтернативного палива традиційному дизелю забезпечує з однієї сторони зниження викидів токсичних речовин, а з іншої – такого роду пальне є відновлюваним видом палива, а його застосування дозволяє зберегти баланс CO₂. Відомим є той факт, що в процесі використання біопалива відбувається не лише зменшення викидів сажі, а й спостерігається зменшення дисперсності сажових часточок. Останнє може забезпечувати більш повне їх вигорання із каталітичних нейтралізаторів, а зменшення викидів твердих часточок дозволяє забезпечити більшу стабільність роботи дизельних двигунів.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

2.1. Дослідження екологічних характеристик дизельного двигуна, що працює на біопаливі

Провівши аналіз теоретичних основ використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів було встановлено, що використання біопалива як домішки до дизельного палива дозволяє покращити екологічні характеристики дизельних двигунів. Різні види шкідливих домішок відпрацьованих газів мають різний вплив на людський організм та навколишнє природне середовище. Аналіз ваги впливу окремих складових відпрацьованих газів зручно проводити здійснюючи порівняння із еталонним компонентом.

Як правило, за еталонний компонент приймають окис вуглецю. Відносну вагу кожної складової R_i розраховують як відношення величини гранично допустимої концентрації окису вуглецю ($\Gamma ДК_{CO}$) до гранично допустимої концентрації відповідного i -го елемента ($\Gamma ДК_i$):

$$R_i = \Gamma ДК_{CO} / \Gamma ДК_i. \quad (2.1)$$

Приведення до спільного показника відносної ваги R_i забезпечує можливість проведення оцінки екологічності транспортного засобу через сумарний приведений коефіцієнт токсичності, $z/z_{од}$:

$$G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot G_i). \quad (2.2)$$

Сумарний приведений коефіцієнт токсичності транспортних засобів розраховують відповідно до викидів шкідливих елементів на кілометр шляху, *г/км*:

$$q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot q_i). \quad (2.3)$$

Відповідно до стандартів розвинених країн, в тому числі країн ЄС, проведення оцінки величини токсичності відпрацьованих газів транспортних засобів проводиться по оксиду вуглецю (*CO*), вуглеводнях (*C_nH_m*), твердих елементах чи сажі (*C*) і оксидам азоту (*NO_x*).

Величини відносної ваги регламентованих складових відпрацьованих газів показано у таблиці 2.1.

Таблиця 1

Величини відносної ваги складових відпрацьованих газів

Складова	<i>CO</i>	<i>C_nH_m</i>	<i>NO_x</i>	<i>C</i>
<i>R_i</i>	1,0	3,16	41,1	200

Отже, величину сумарного приведенного до окису вуглецю показника екологічної безпеки транспортного засобу можна розрахувати за наступною формулою:

$$q_{\Sigma} = q_{CO} + 3,16q_{CnHm} + 200q_C + 41,1q_{NO}. \quad (2.4)$$

Розрахунок екологічних показників автомобільних дизельних двигунів по показнику сумарної екологічної безпеки відбувалося з використанням експериментально-розрахункового методу. Для проведення дослідження було взято автомобіль КрАЗ-6444 який оснащений дизельним двигуном ЯМЗ-238М2. Визначення екологічних показників даного автомобіля проводилося експериментально за допомогою

багатокомпонентного газоаналізатора Дозор-С-М-хА та вимірювача сажі testo 338, а за одержаними даними проводилися розрахунки екологічних показників двигуна.

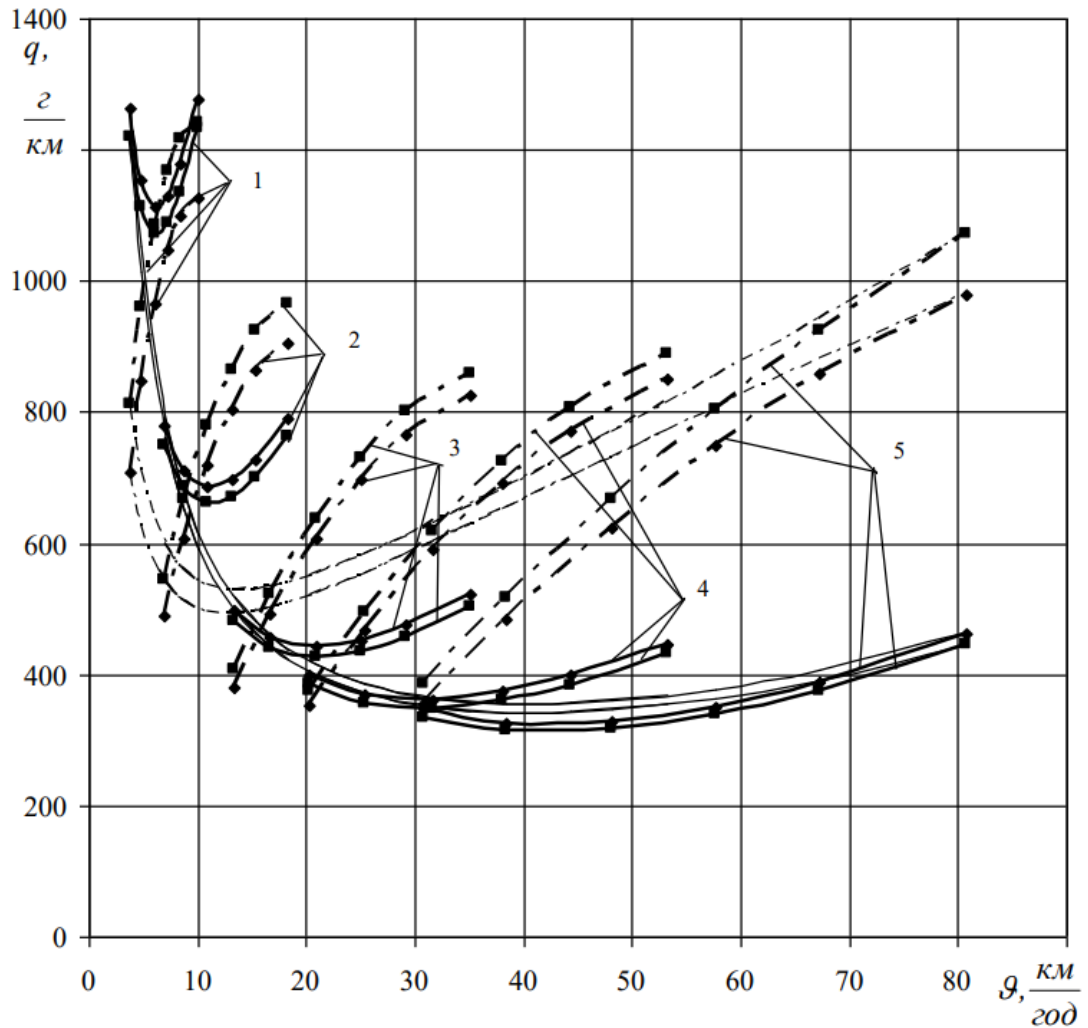


Рис. 2.1. Залежності між витратою палива й сумарною токсичністю автомобіля:

■ – у випадку використання дизельного палива;

◆ – у випадку Б30;

— – витрати пального;

- - - - - величина сумарних приведених викидів NO_x , CO , C_nH_m

та сажі;

1 – 5 – номер передачі.

На рисунку 2.1 представлені залежності між витратою палива й сумарною токсичністю автомобіля під навантаженням із каталітичним нейтралізатором. За допомогою тонких суцільних ліній відображено зміну екологічних показників.

Застосування у вигляді палива суміші Б30, яка містить 30 % біопалива, у порівнянні із традиційним дизельним паливом дозволяє покращити показники екологічності транспортного засобу за усіма складниками (CO , C_nH_m , NO_x та сажею) до – 15 %.

2.2. Оцінка екологічних характеристик дизельного двигуна при його роботі на різних видах палива

З метою проведення досліджень, направлених на підвищення екологічності дизельних двигунів, а саме встановлення режимів роботи останніх, що є характерними для реальних умов роботи транспортних засобів, було використано моторний стенд з двигуном ЗМЗ-5143. Даний стенд було обрано з метою зниження витрат палива, а також з даним стендом зручно працювати (має вільний доступ для розташування давачів та вимірювального обладнання).

Дослідження були проведені з метою встановлення основних екологічних характеристик при використанні традиційного дизельного палива, біопалива, а також їх бінарних сумішей. Результати проведених досліджень показано на рисунках 2.2 – 2.4.

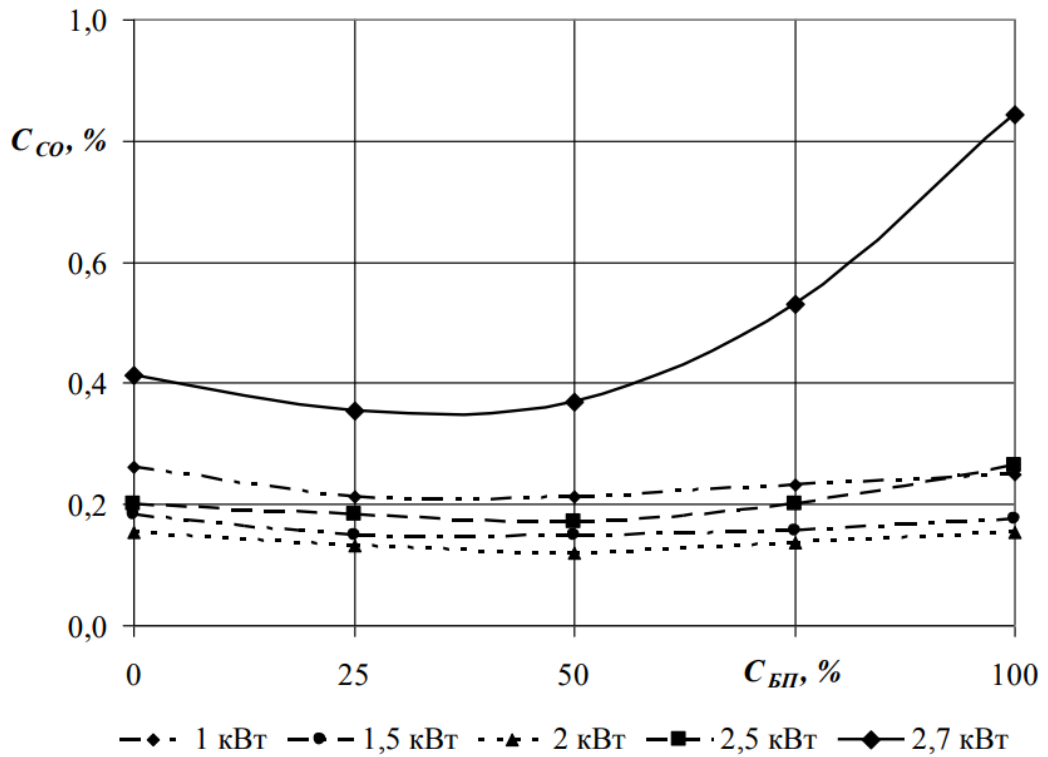


Рис. 2.2. Залежності концентрацій вуглекислого газу від частки біопалива у бінарній паливній суміші

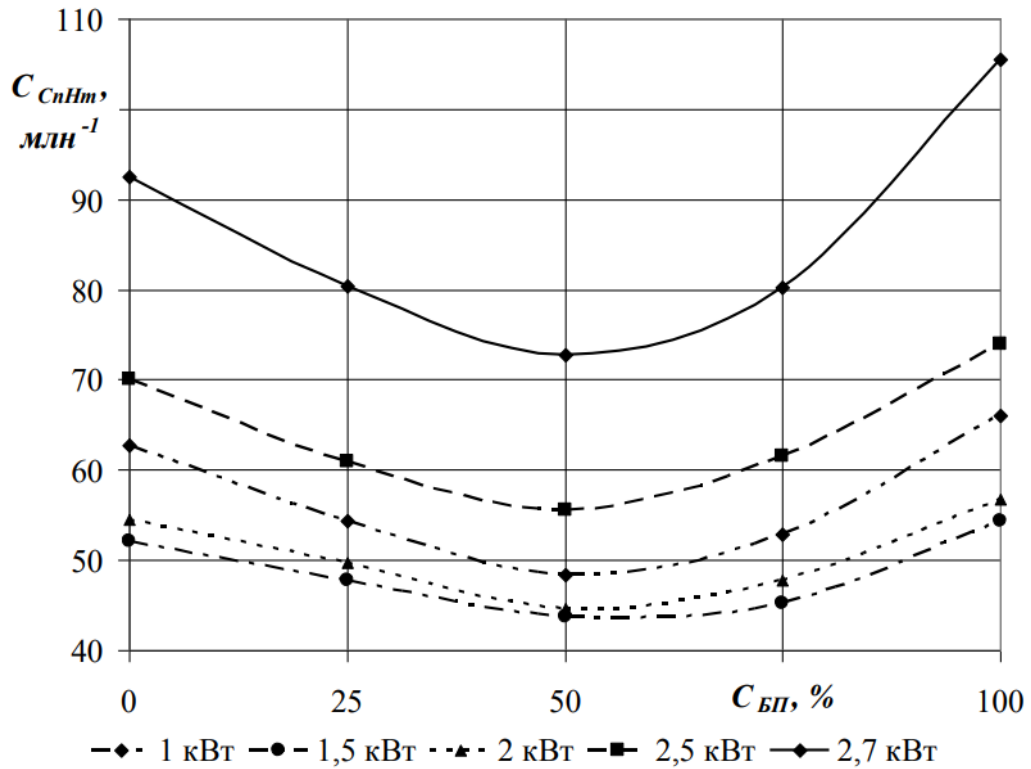


Рис. 2.3. Залежності концентрацій вуглеводнів від частки біопалива у бінарній паливній суміші

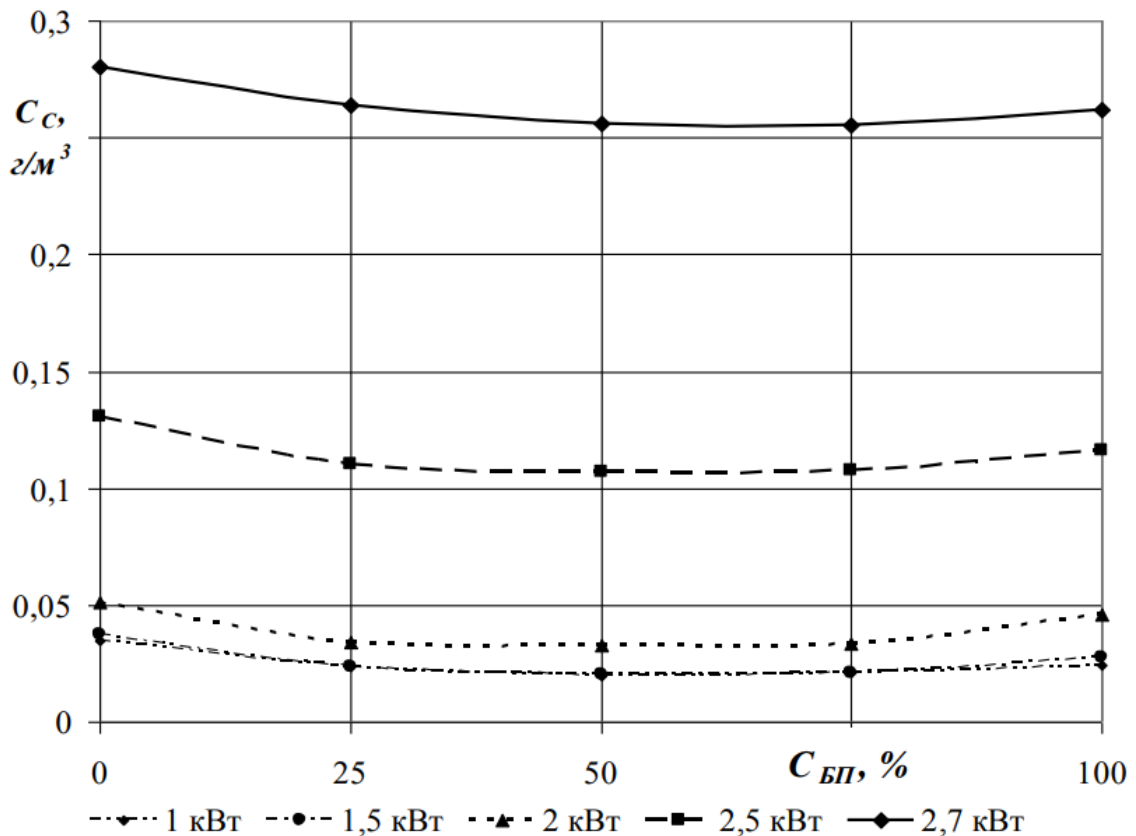


Рис. 2.4. Залежності концентрацій сажі від частки біопалива у бінарній паливній суміші

Аналіз рисунків 2.2 та 2.3 показує, що по мірі підвищення кількості біопалива в бінарній суміші спочатку спостерігається зниження кількості продуктів неповного згорання у відпрацьованих газах. Такий результат можна пояснити тим, що молекулярна структура біопалива містить певну кількість кисню, який забезпечує більш повне згорання паливної суміші.

При подальшому підвищенні долі біопалива відбувається підвищення показників в'язкості та густини суміші, що в свою чергу, створює негативний ефект на процеси впорскування та розпилення паливної суміші форсунками.

Наслідком перевищення оптимальної частки біопалива, яка знаходиться в межах до 50 %, є зростання кількості продуктів неповного згорання у вихлопних газах. Дане зростання обумовлюється погіршенням

умов утворення паливної суміші через подальше підвищення концентрації біопалива в бінарній суміші.

Слід відмітити, що біопаливо володіє нижчим показником теплоти згоряння, в зв'язку з чим, з метою забезпечення необхідної потужності дизельного двигуна виникає необхідність збільшення подачі палива. Величина збільшення витрати палива залежить від того скільки біопалива міститься у бінарній суміші. Співвідношення між кількістю біопалива і традиційного дизельного пального постійно змінюється, навіть під час заправки транспортного засобу. Отже, з метою дотримання оптимальної потужності двигуна і витрат палива необхідно постійно здійснювати контроль за вмістом біопалива у суміші.

2.3. Дослідження характеристик палива з метою встановлення параметра для оцінки елементного складу суміші

Для встановлення параметра, що можна було б застосовувати для оцінки кількості біопалива в паливній суміші виникає необхідність проведення досліджень характеристик самої паливної суміші.

Це є необхідним, перш за все, для проведення контролю елементного складу суміші, що найбільше цікавить для запровадження автоматичної системи в паливну апаратуру, яка повинна буде вносити корективи щодо подачі палива в залежності від елементного складу бінарної паливної суміші.

З метою реалізації даного типу системи потрібно визначити показник, що володіє лінійною залежністю від вмісту біопалива у паливній суміші із дизельним паливом.

2.3.1. Дослідження показників густини та в'язкості біопалива, дизельного палива, а також їх сумішей

Показник густин палив досліджувався за допомогою установки для вимірювання густини нафти та нафтопродуктів ТНГ 1298, а в'язкості – капілярного віскозиметру ВЖ – 2.

Оцінимо значення показників густини та в'язкості досліджуваних палив. Густину, як вже було сказано, визначали за допомогою ТНГ 1298, яка відповідає стандартам: ДСТУ ГОСТ 31072, EN ISO 3675, ASTM D1298.

Відповідно до ДСТУ 3868 – 99 «Паливо дизельне. Технічні умови» показник густини літнього дизельного палива не повинен перевищувати 860 кг/м^3 , а зимового – 840 кг/м^3 , з літературних джерел відомо, що густина біопалива становить $876 - 882 \text{ кг/м}^3$.

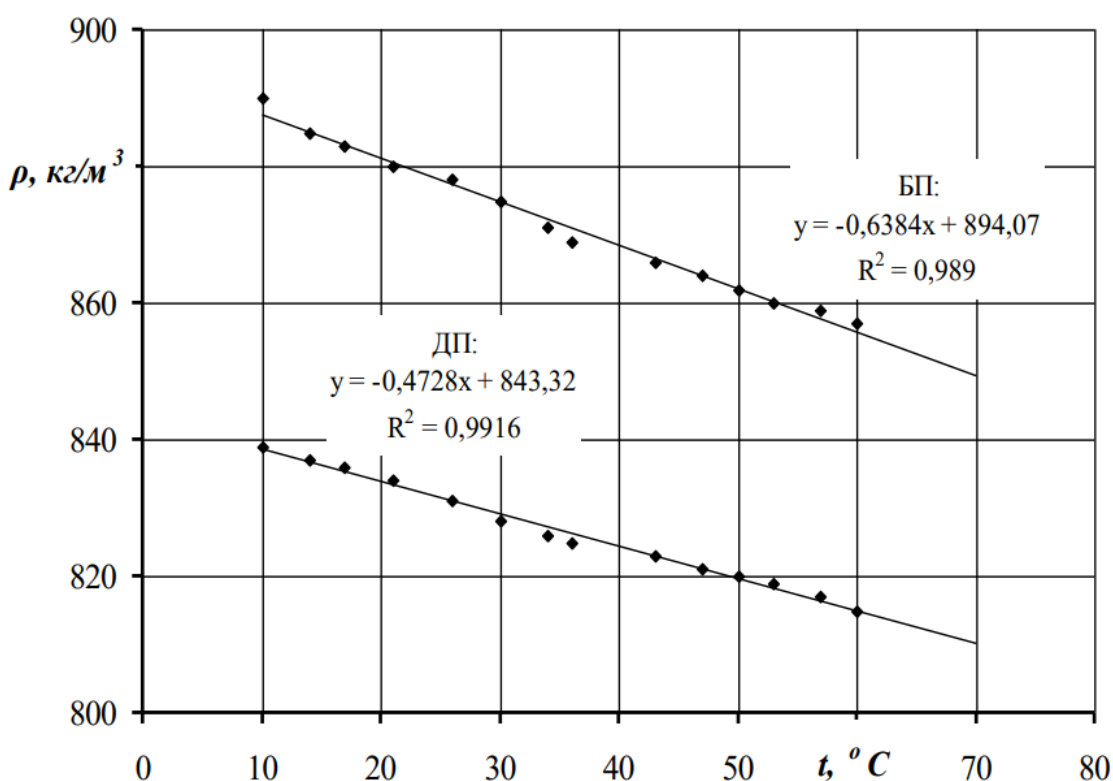


Рис. 2.5. Густинно-температурна характеристика

Паливо, що використовувалося в процесі здійснення експериментальних досліджень, попередньо піддавалося аналізу фізико-хімічних властивостей.

Відповідно до результатів досліджень нами побудовані густинно-температурна (рис. 2.5) та в'язкісно-температурна характеристики (рис. 2.6).

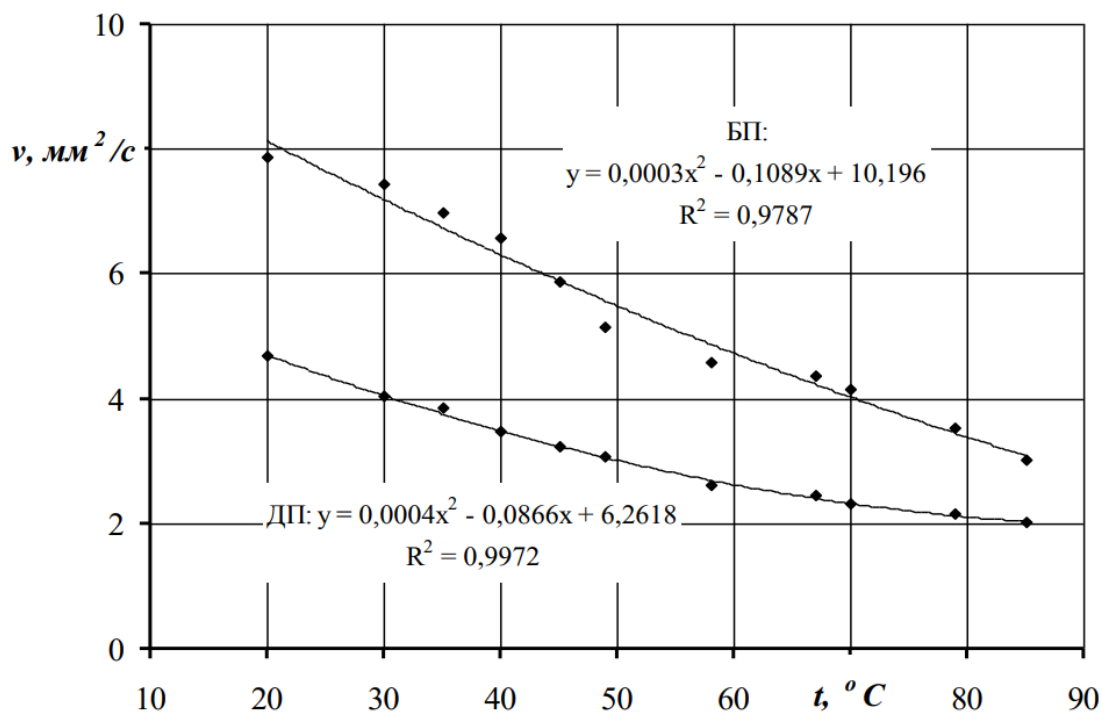


Рис. 2.6. В'язкісно-температурна характеристика

Приймаючи до уваги те, що величина густини від температури має лінійну залежність, то для проведення апроксимації отриманих результатів дослідження густини палива нами обрано – лінійну залежність.

2.3.2 Дослідження діелектричної проникності палива

Величину діелектричної проникності біопалива, дизельного палива, а також їх сумішей визначалося методом занурення спеціального плоского конденсатора в аналізований взірець палива із встановленням електричної ємності останнього.

Розрахунок діелектричної проникності досліджуваного палива проводився за наступною формулою:

$$\varepsilon = \frac{C_i}{C_{\text{пов}}}, \quad (2.5)$$

де C_i – величина електричної ємності спеціального плоского конденсатора в досліджуваному паливі;

$C_{\text{пов}}$ – величина електричної ємності спеціального плоского конденсатора на повітрі.

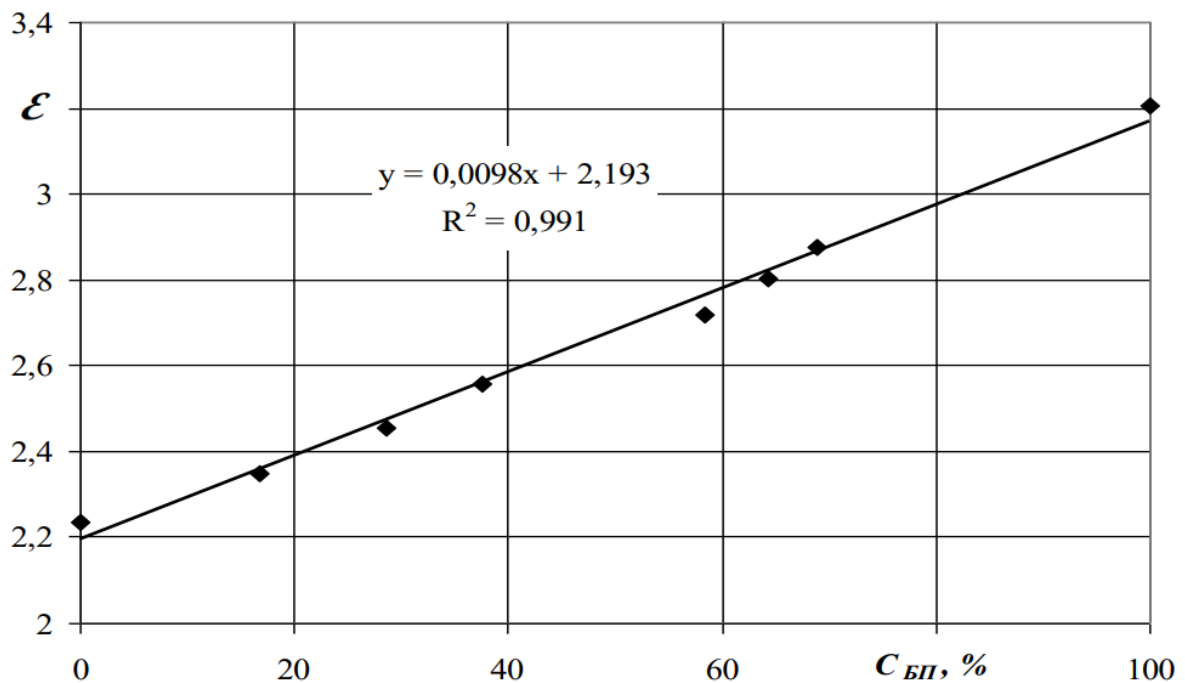


Рис. 2.7. Графік залежності діелектричної проникливості палива від вмісту у ньому біопалива

Величину діелектричної проникності повітря було прийнято за одиницю.

Визначення діелектричної проникності палива та його бінарних сумішей проводилося при різних температурах.

На рисунку 2.7 зображено графік залежності діелектричної проникливості палива від вмісту у ньому біопалива при 20 °С.

Як бачимо з графіка дану залежність із високою точністю можемо зобразити у вигляді прямої. Величина діелектричної проникності дизельного палива при 20 °С становить 2,24, а біопалива – 3,2. Як бачимо, відхилення між ними становить близько 30 %.

На рисунку 2.8 відображені графіки залежностей діелектричних проникностей дизельного палива та біопалива від температури.

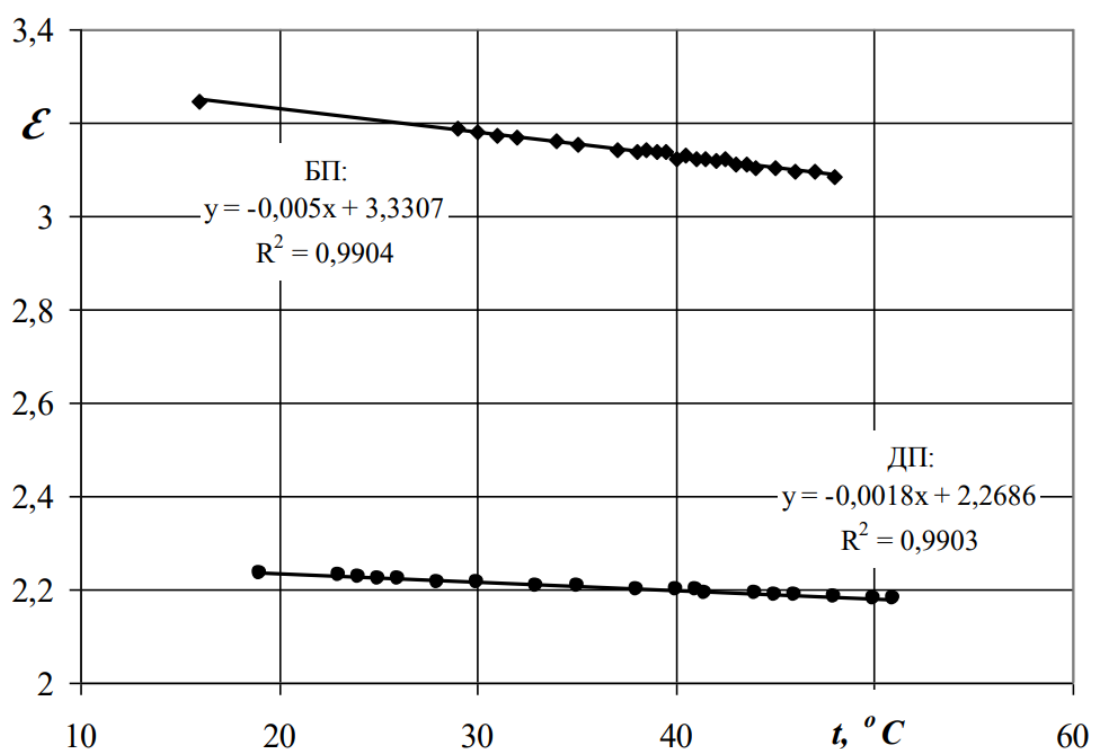


Рис. 2.8. Графіки залежностей діелектричних проникностей дизельного палива та біопалива від температури

Як бачимо з рисунка 2.8, величини діелектричних проникностей дизельного палива та біопалива володіють незначною залежністю від зовнішньої температури. З другої сторони їх можна з високою точністю апроксимувати у лінійну залежність показану на рисунку 2.4.

Отже, величина діелектричної проникності паливної суміші може бути використана для встановлення елементного складу паливних сумішей під час використання систем автоматичного регулювання паливоподачі.

Відповідно до результатів проведених експериментальних досліджень щодо роботи автомобільних дизельних двигунів на традиційному дизельному паливі, чистому біопаливі та їх сумішах виникає потреба у встановленні оптимального складу паливної суміші, що забезпечує максимально можливі екологічні характеристики.

У таблиці 2.2 наведено величини зміни таких показників як густина, кінематична в'язкість і діелектрична проникність різних палив від зміни температури у % / °C. У випадку кінематичної в'язкості відображена величина середньої зміни, так як її залежність носить не нелінійний характер.

Таблиця 2.2

Величини зміни таких показників як густина, кінематична в'язкість і діелектрична проникність різних палив від зміни температури

Паливо	Показник		
	$\Delta\rho, \%/^{\circ}\text{C}$	$\Delta\nu_{сер}, \%/^{\circ}\text{C}$	$\Delta\varepsilon, \%/^{\circ}\text{C}$
ДП	0,057	1,009	0,082
БП	0,074	1,124	0,159

Аналіз таблиці 2.2 показує, що найнижчою зміною від температури володіє густина палива. Зміни діелектричної проникності в залежності від температури мають вищі значення у порівнянні із змінами густини. Однак,

відмінності між густиною дизельного палива та біопалива знаходиться в межах 5 %, а відмінність їх діелектричних проникностей – більше 30 %.

Величина кінематичної в'язкості палив має значно більші межі зміни в залежності від змін температури та, як було відмічено раніше, може значно коливатися.

Отже, як бачимо, найбільш дієвим показником для встановлення елементного складу бінарних сумішей для систем автоматичної зміни подачі палива є показник діелектричної проникності палива.

Висновки до розділу 2

Провівши аналіз теоретичних основ використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів було встановлено, що використання біопалива як домішки до дизельного палива дозволяє покращити екологічні характеристики дизельних двигунів. Різні види шкідливих домішок відпрацьованих газів мають різний вплив на людський організм та навколишнє природне середовище. Аналіз ваги впливу окремих складових відпрацьованих газів зручно проводити здійснюючи порівняння із еталонним компонентом.

Застосування у вигляді палива суміші Б30, яка містить 30 % біопалива, у порівнянні із традиційним дизельним паливом дозволяє покращити показники екологічності транспортного засобу за усіма складниками (CO , C_nH_m , NO_x та сажею) до – 15 %.

З метою проведення досліджень, направлених на підвищення екологічності дизельних двигунів, а саме встановлення режимів роботи останніх, що є характерними для реальних умов роботи транспортних засобів, було використано моторний стенд з двигуном ЗМЗ-5143. Даний стенд було обрано з метою зниження витрат палива, а також з даним стендом зручно працювати (має вільний доступ для розташування давачів та вимірювального обладнання).

Дослідження були проведені з метою встановлення основних екологічних характеристик при використанні традиційного дизельного палива, біопалива, а також їх бінарних сумішей.

Аналіз показує, що по мірі підвищення кількості біопалива в бінарній суміші спочатку спостерігається зниження кількості продуктів неповного згоряння у відпрацьованих газах. Такий результат можна пояснити тим, що молекулярна структура біопалива містить певну кількість кисню, який забезпечує більш повне згоряння паливної суміші.

При подальшому підвищенні долі біопалива відбувається підвищення показників в'язкості та густини суміші, що в свою чергу, створює негативний ефект на процеси впорскування та розпилення паливної суміші форсунками.

Наслідком перевищення оптимальної частки біопалива, яка знаходиться в межах до 50 %, є зростання кількості продуктів неповного згоряння у вихлопних газах. Дане зростання обумовлюється погіршенням умов утворення паливної суміші через подальше підвищення концентрації біопалива в бінарній суміші.

Отже, як бачимо, найбільш дієвим показником для встановлення елементного складу бінарних сумішей для систем автоматичної зміни подачі палива є показник діелектричної проникності палива.

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1. Розробка моделі витрат палива дизельними двигунами при переході на альтернативні види палива

У 2020 році автомобільними підприємствами світу було побудовано близько 80 мільйонів автомобільних транспортних засобів, в тому числі у Китаї – 25 мільйонів, в Європі – 11 мільйонів, Північній Америці та Японії по 8 мільйонів, а решту в Індії, Південній Кореї та Мексиці. Зниження показника витрати палива транспортними засобами є одним із основних завдань на сьогоднішній день. Для того щоб знизити величину витрати палива необхідно, перш за все, зменшити негативний вплив на транспортний засіб, який виникає у зв'язку із рухом останнього по дорозі та опором повітря. З цією метою автовиробники роблять наступне: знижують масу транспортних засобів; зменшують величину аеродинамічного опору; підвищують сили щеплення коліс із дорожнім полотном тощо.

У роботах дослідників [37] зауважується те, що лише до 10 % зменшення витрати палива можливо забезпечити за рахунок підвищення технологічності транспортних засобів. Детальний аналіз моделювання витрати палива здійснений Колодницькою Р.В. [13], де нею був проведений аналіз витрат палива за допомогою програмного забезпечення CEMEM по восьми різних циклах та для різних видів автомобільних транспортних засобів.

В процесі застосування альтернативних видів палива для автомобілів, які працюють на дизельному паливі, процес моделювання витрат палива не є простою задачею. Оскільки, альтернативні види палива володіють іншими фізичними характеристиками у порівнянні із традиційним дизельним паливом. Переносити відомі моделі витрат дизельного палива на альтернативні види палив є помилковим рішенням.

Витрата альтернативних видів палива транспортними засобами у процесі їх експлуатації потребує додаткових досліджень. У більшості випадків, визначення витрат альтернативних палив проводять експериментально. В роботі [41] дослідниками проведений аналіз витрати палива двох біодизельних палив, що мали різний складу. Проведені дослідження показали, що витрати біодизеля є більшими до 10 % у порівнянні із традиційним дизельним паливом. Як стверджують автори [41] це є наслідком того, що біопаливо володіє меншою теплотою згоряння ніж традиційне паливо.

Не до кінця дослідженим є вплив різних властивостей палива на його витрати. У дослідженнях [46] було проведено оцінку експериментальних даних значної кількості альтернативних видів палива та виведені залежності зміни, у відносних величинах, витрат альтернативних видів палива у зіставленні із традиційним дизельним паливом.

У монографії [14] проведений аналіз витрат біопалива за допомогою відомих моделей Говоруценка. Проведене моделювання витрати біодизеля (л/100 км) було підтверджене експериментальними дослідженнями. Відповідно до моделей і експерименту витрати біопалива становили на 11,5 % більші відносно традиційного дизпалива [14]. Недоліком застосування моделей Говоруценка є те, що для їх реалізації необхідно володіти точними характеристиками двигуна транспортного засобу, а вони є, як правило, недоступними для більшості нових двигунів. У зв'язку з тим, виникає необхідність у додатковому детальному аналізі чинників, що мають вплив на витрати альтернативних дизельних палив, застосовуючи сучасні моделі, які враховують нові процедури щодо витрати палива новими типами дизельних двигунів, які описані у роботі [47]. Особливої уваги заслуговують нові види альтернативних дизельних палив, як для прикладу, відновлювальне дизельне паливо (HVO), характеристики якого відображені у працях [35, 36].

У роботі [46] показано модель метою якої є встановлення зміни витрати альтернативних видів палива, у відносних величинах, у порівнянні із традиційним дизельним паливом:

$$\alpha_{FC} = -1.113E - 0.076F - 1.075C, \quad (3.1)$$

де α_{FC} – відносне значення зміни витрати палива;

E – відносне значення зміни показника NCV_{mass};

F – відносне значення зміни цетанового числа;

C – відносне значення зміни густини.

Розрахунок відносних змін основних характеристик $C(X_R)$ відбувається наступним чином [46]:

$$C(X_R) = \frac{c_{R(X_R)} - c_S}{c_S} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де $C(X_R)$ – питома величина властивості палива у суміші альтернативного палива, залежить від концентрації біопалива X_R ;

c_S – питома величина властивості палива для традиційного дизельного палива.

Як було відмічено, менші показники витрати палива транспортних засобів безпосередньо залежать від теплоти згоряння, іншими словами чим більший вміст у паливі енергії тим менші його витрати. Однак, не лише кількість у паливі енергії позначається на величині продуктивності автомобільного двигуна, а й низка інших характеристик палива, таких як його густина та цетанове число. Паливу, яке характеризується вищим цетановим числом, як правило, властиві менші витрати [46]. Густина має вплив на ефективність впорскування; при підвищенні густини палива відбувається ріст розміру крапель, а отже погіршується його розпилування, що, у більшості випадків, зумовлює зростання витрат палива.

З роботи [41], бачимо, що її автори теж притримуються думки, що витрати біодизеля будуть вищими, у випадку коли автомобіль заправляти біопаливом із більшою густиною. Порівняльну характеристику витрат палива при двох видах біодизеля відображено на рисунку 3.1. На даному рисунку розглядається порівняння двох різних видів біодизеля, тип А складається із 80% тваринного походження (жир яловичини, свинини та овечий) і 20 % рослинного походження (олія канולי метилового ефіру), тип В складається – 70 % курячий вал та 30 % відходи кулінарної олії метилового ефіру.

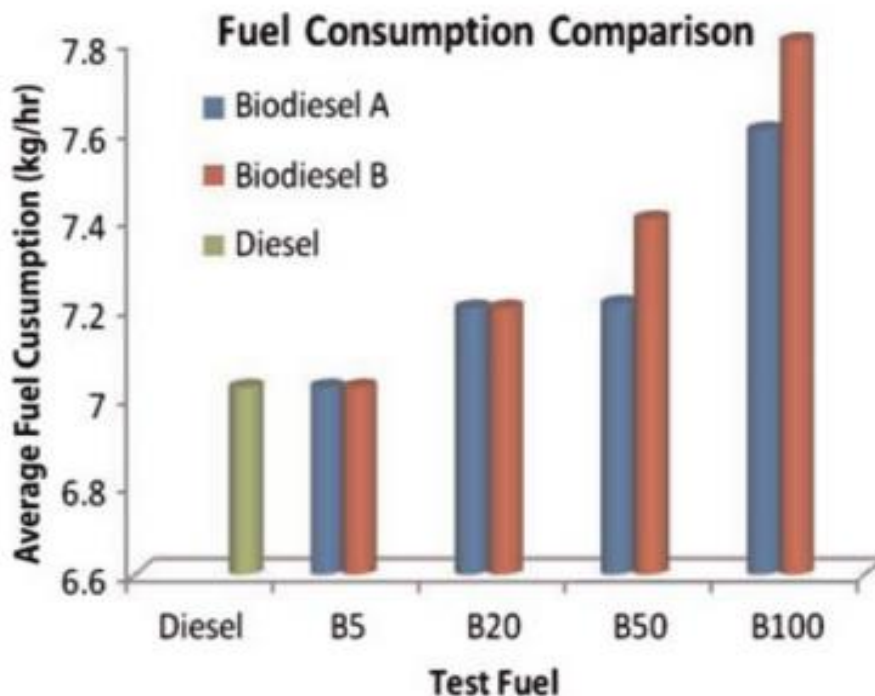


Рис. 3.1. Значення середньої витрати біопалива (кг/год) для двох типів біодизеля у порівнянні із традиційним дизельом і різними видами сумішів даних палив [41]

Спираючись на експериментальні дані, відображені на рисунку 3.1, величина середньої зміни масової витрати (кг/год) біопалива для біопалива типу А становить – 8,5%, а для біопалива типу В – 11,4% у співставленні із традиційним дизельним паливом. Отже, очевидним є той факт, що біодизельні палива володіють нижчим вмістом енергії, в порівнянні із

традиційним дизельним паливом чи відновлювальним дизельним паливом (HVO), або синтетичним паливом (GTL). Даний факт пояснюється елементним складом палива – при вищому вмісті кисню, спостерігається нижча температура згоряння палива. Найбільше кисню знаходиться у біодизелі, при тому як у хімічному складі HVO кисень відсутній. Окрім цього, палива із вищим показником в'язкості, до якого відноситься біодизель, характеризується більш високим показником витрати, у порівнянні із менш в'язкими такими як GTL. На рисунку 3.2 показано вплив зміни різних характеристик альтернативних палив (в'язкість (Viscosity), цетанове число (CN), густина (Density), відношення об'ємної теплоти згоряння (NCVvol) до масової теплоти згоряння (NCVmass), вміст кисню (Oxygen)) на величину відносної зміни витрати палива.

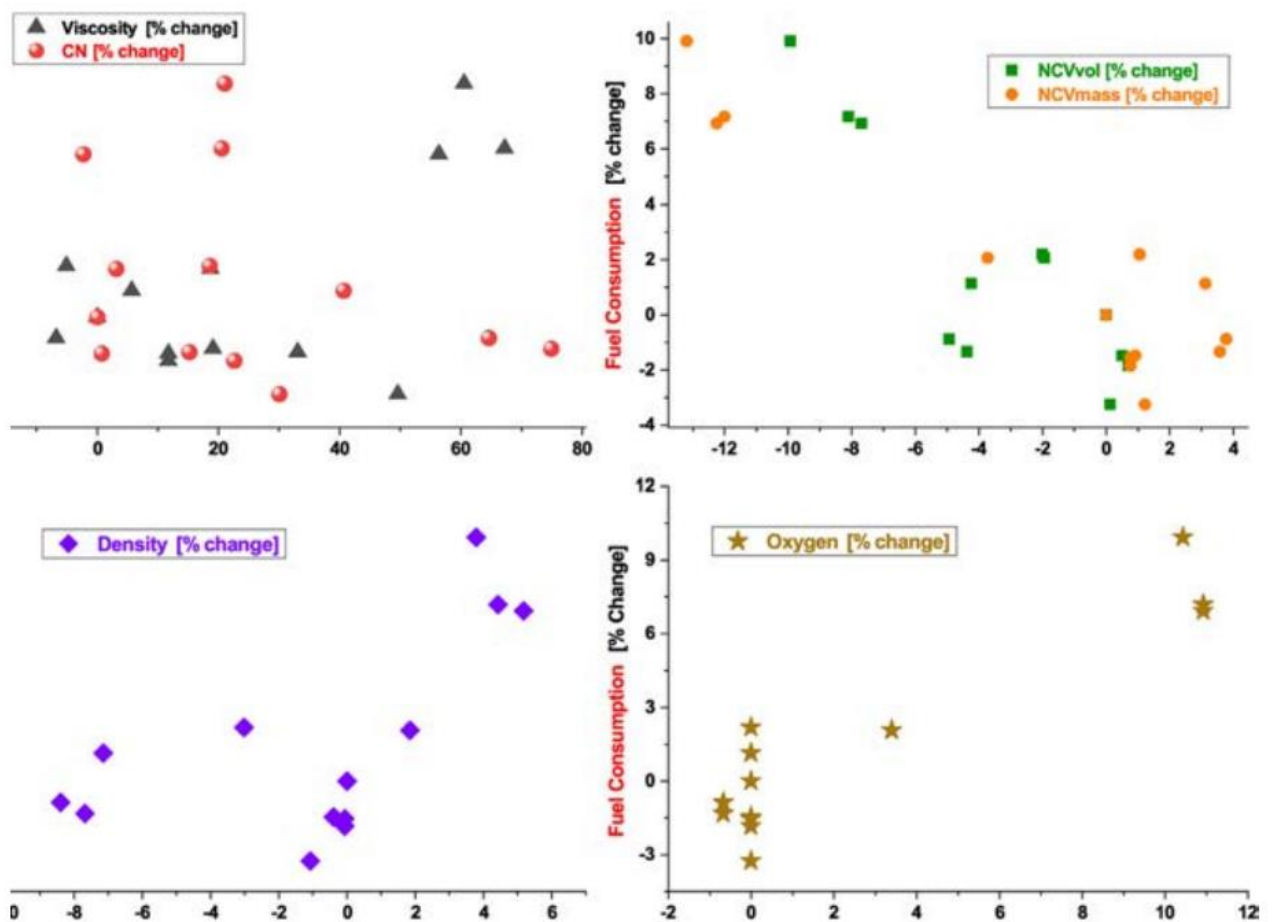


Рис. 3.2. Вплив зміни різних характеристик альтернативних палив на величину відносної зміни витрати палива [46]

Покажемо формулу (3.1) наступним чином:

$$\alpha_{FC} = -1,08\Delta\rho - 0,08\Delta CN - 1,1\Delta H, \quad (3.3)$$

де $\Delta\rho$ – значення відносної величини зміни густини палива;

ΔCN – значення відносної величини зміни цетанового числа;

ΔH – значення відносної величини зміни нижчої межі теплоти згоряння біопалива палива у порівнянні із традиційним.

Моделі, які відображені за допомогою формул (3.1) та (3.3), мають місце для питомої витрати палива (BSFC). BSFC – є відношенням показника масової витрати палива до ефективної потужності. Практичного значення набули моделі годинної витрати, одна із них показана у праці [48]. Відповідно до якої, величину годинної витрати палива можна розрахувати наступним чином, (л/год):

$$G_f = \frac{q_e N_e}{1000\Delta\rho_f}, \quad (3.4)$$

де q_e – величина ефективного питомого значення витрати палива, г/(кВт год);

N_e – значення ефективної потужності двигуна, кВт.

Розрахунок ефективної питомої витрати палива проводиться наступним чином:

$$q_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot H_n}, \quad (3.5)$$

де H_n – показник теплоти згоряння палива, кДж/кг;

$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$ – значення ефективного ККД.

$$\eta_i = \frac{P_i L_0 R T}{H_n \eta_v P} \alpha, \quad (3.6)$$

де P_i – величина середнього індикаторного тиску, кПа;

L_0 – показник стехіометричної кількості паливно-повітряної суміші, кмоль/кг;

R – універсальна газова стала, Дж / (моль К);

T – значення температури повітря, К;

η_v – коефіцієнт заповненості циліндрів двигуна;

P – значення тиску повітря, кПа;

α – показник лишку повітря.

Значення величини середнього ефективного тиску, відповідно до [48] розраховується наступним чином:

$$P_e = \frac{N_e \cdot 30 \cdot \tau \cdot 10^3}{V_h \cdot n}, \quad (3.7)$$

де τ – цикл двигуна;

V_h – значення робочого об'єму двигуна, дм³;

n – значення частоти обертання колінчастого валу, об/хв.

Значення годинної витрати палива при N_e рівне нулю становить [48], (л/год):

$$G_f = \frac{0,12 \cdot P \cdot V_h \cdot n \cdot B_\eta}{L_0 \cdot R \cdot T \cdot \tau \cdot C_\alpha \rho_f}, \quad (3.8)$$

де B_η та C_α – коефіцієнти, які залежать від конкретного виду двигуна.

Якщо прийняти значення густини дизпалива рівним $\rho_f = 0,84$ г/см³ а $L_0 = 0,5$ кмоль/кг, $B_\eta = 1$, $C_\alpha = 5$, то отримаємо наступне значення годинної витрати палива:

$$G_f = 0,0017 \cdot P \cdot V_h \cdot n/T, \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунок витрати палива віджповідно до моделі (3.9) автомобіля Volkswagen Passat B6 1,9 TDI (об'єм – 1,9 л і частота обертання – 600 об/хв):

$$G_f = 0,0017 \cdot 0,35 \cdot 1,9 \cdot 600 = 0,678 \frac{\text{л}}{\text{год}}$$

Для автомобіля Volkswagen Passat B6 із двигуном потужністю 105 кінських сил величина середньої витрати дизельного палива становить 5,6 л/100 км. Проведений експеримент показав, що витрати дизпалива при холостому ході Volkswagen Passat B6 1,9 TDI знаходяться в межах від 0,62 до 0,68 л / год, що відповідає проведеним розрахункам.

У базах даних WTLP [50] містяться дані щодо витрати палива новітніх транспортних засобів, які виготовлені у Великобританії. Бази WTLP поділені на 4 групи по максимальній швидкості транспортного засобу: Low (низька), Medium (середня), High (висока), Extra-high (надвисока).

Подібною потужністю до автомобіля Volkswagen Passat B6 1,9 TDI, витрати палива, якого ми розраховували, володіє автомобіль Renault. На рисунку 3.3 відображено дані WTLP Metric для чотирьох автомобілів Renault, що мають потужність 66 кВт і двох автомобілів Renault потужністю 70 кВт, які працюють на дизельному паливі. Інформація отримана із бази WTLP [50].

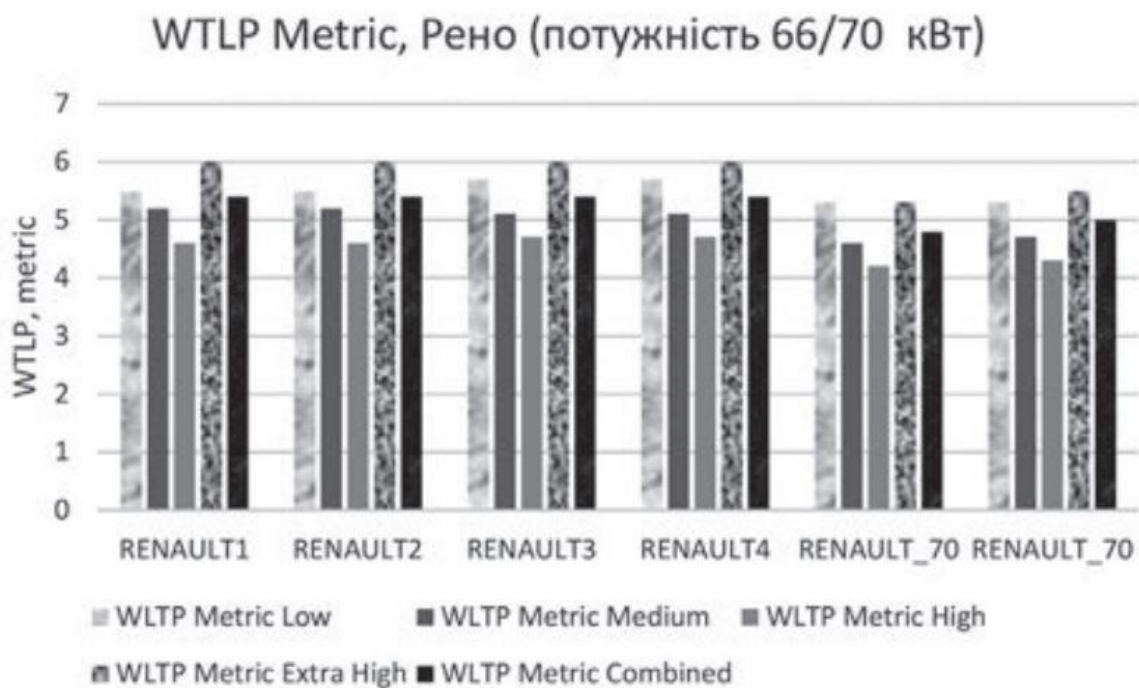


Рис. 3.3. WTLP Metric

Величина середньої витрати палива для автомобілів Renault (metric medium) становить близько 5,1 л/100 км. Відповідно до комбінованого показника усі автомобілі Renault, що мають потужність 66 кВт володіють однаковими характеристиками витрати – 5,4 л/100 км.

Проведемо розрахунок величини відносних змін характеристик біодизельного палива та НVO, скориставшись формулою (3.2), а також величину відносної зміни витрат палива відповідно до формули (3.1). Результати розрахунків відобразимо за допомогою таблиць 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1

Зведені дані залежностей витрат палива від його характеристик

Характеристика	Розмірність	Дизельне паливо	Біодизель	$C(X_R)$
Густина, 20 °С	кг/м ³	826	877	6,17
Цетанове число	-	45	51	13,33
Теплота згоряння	МДж/кг	42,5	37,5	-11,8
Зміна втрати палива	%		5,44	

Таблиця 3.2

Зведені дані залежностей витрат HVO від його характеристик

Характеристика	Розмірність	Дизельне паливо	Біодизель	$C(X_R)$
Вміст біодизеля	%	7,0		
Густина, 20 °С	кг/м ³	832,4	778,7	-6,45
Цетанове число	-	56,5	76,3	35,04
Теплота згоряння	МДж/кг	43	44	2,32
Зміна втрати палива	%		1,69	

Таблиця 3.3

Зведені дані залежностей витрат HVO від його характеристик

Характеристика	Розмірність	EN 590	HVO	EN 590-30
Густина, 20 °С	кг/м ³	843,0	779,7	824,0
Цетанове число	-	54,5	70	65
Теплота згоряння	МДж/кг	46,0	47,26	46,35
Зміна втрати палива	%		-0,092	0,104

Проводячи аналіз таблиці 3.2 ми бачимо, що у дизельному паливі міститься 7 % біопалива. Аналізуючи таблицю 3.3 із застосуванням формули (3.1) бачимо, що для випадку застосування HVO, а також EN 590-30, в якій міститься 30 % HVO, отримані дуже близькі по величині значення витрат палива.

Дані щодо відносної зміни характеристик різних видів біопалив та їх витрат змодельованими за допомогою формули (3.1) та проведеного експерименту дослідниками [46] зведемо у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Зведені дані відносної зміни характеристик палив та їх витрати

Вид палива	$\Delta CN, \%$	$\Delta \rho, \%$	Зміна в'язкості, %	$\Delta H, \%$	$\alpha_{FC}, \%$ експериментальне	$\alpha_{FC}, \%$ розрахункове
B 100	20,5	4,4	67,3	-12,0	7,2	7,0
B 100	21,0	3,8	60,6	-13,2	9,9	9,0
GTL100	64,6	-8,4	-6,8	3,8	-0,9	-0,1

З метою встановлення величини годинної витрати палива необхідно спочатку розрахувати значення стехіометричної кількості повітря (формула 3.10), кмоль/кг [9]:

$$L_0 = \frac{C/12 + H/4 - O/32}{0,21}, \quad (3.10)$$

де C , H і O – значення масових часток у паливі вуглецю, водню та кисню, відповідно.

Відповідно до досліджень [9], розрахункове значення L_0 , для біодизеля, становить 0,44 кмоль/кг.

Підставивши дані для біодизельного палива, отримаємо наступну залежність:

$$G_f = 0,0019 \cdot V_h \cdot n \cdot P/T, \quad (3.11)$$

Підставивши значення характеристик у залежність (3.11) одержимо, що для біодизеля витрати палива будуть становити 0,74 л/год, що в порівнянні із дизельним паливом (0,69 л/год), дає відносне значення приросту витрати біодизеля на 7,5 %.

Характеристики біодизельного палива і дизельного палива, відповідно до [14], а також відомості, необхідні для проведення розрахунків витрат палива зведено у таблицю 3.5.

Порівняльну характеристику властивостей альтернативних видів палив GTL і RME із дизпаливом ULSD відображено за допомогою таблиці 3.6. Характеристики палив взяті із дослідження [51]. Відповідно до цих досліджень GTL володіє вищою теплотою згоряння, у порівнянні із дизпаливом ULSD та біопаливом RME, а також значно вищим показником цетанового числа.

Таблиця 3.5

Зведені дані характеристик палив та результатів розрахунків

Характеристика	Розмірність	ДП1	БД	ДП2	БД
Густина	кг/м ³	860	880	840	880
Теплота згоряння	МДж/кг	42,5	37,5	42,5	37,5
Цетанове число	-	45	51	45	51
N_e	кВт	204	233		
L_0	кмоль/кг	0,5	0,44	0,5	0,44
Зміна витрати палива (3.1)	%		9,6		7,0
Витрата палива, Volkswagen (3.9)	л/год			0,69	0,74
Зміна витрати палива (3.9)	%				7,6

Таблиця 3.6

Зведені дані характеристик палив та результатів розрахунків [51]

Характеристика	Розмірність	ULSD	RME	GTL
Густина	кг/м ³	827,1	883,7	786,4
Кінематична в'язкість	мм ² /с	2,47	4,48	3,50
Нижнє значення теплоти згоряння	МДж/кг	42,7	37,4	43,9
Цетанове число	-	53,9	54,7	80
Ароматичні вуглеводні	% ваги	24,4	-	0,3
O	% ваги	-	10,8	-
C	% ваги	86,5	77,2	85,0
H	% ваги	13,5	12,0	15,0
FC (3.1)	%		6,35	-1,52
L_0	кмоль/кг	0,504	0,433	0,516

Беручи до уваги такі характеристики палива GTL як його густина (786,4 кг/м³) та L_0 (0,516 кмоль/кг), за допомогою залежності (3.8) розраховуємо величину відносної зміни витрати палива у порівнянні із ДП1. Підставивши дані отримуємо значення – 0,025%. У порівнянні із базовим паливом ULSD отримуємо величину відносної зміни витрати GTL (2,73 %), така різниця пояснюється нижчою густиною ULSD у порівнянні із ДП2.

Проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що величина ефективної питомої витрати палива є вищою для біопалива, у порівнянні із традиційним дизпаливом, а у випадку синтетичних видів палива GTL і HVO нижчою чи майже незмінною.

Експериментальні дослідження [12] відображають те, що залежності величини циклової витрати палив від густини для кожного із трьох видів палив є близькими до лінійних функцій. Разом з тим, трьох компонентне біопаливо, яке володіло аналогічною в'язкістю із дизельним паливом, мало вищі показники витрати, одночасно трьохкомпонентне паливо володіло більшою густиною.

Проведене моделювання, підтверджене експериментальними даними показало, що випадку використання біодизельного палива ми матимемо вищі показники витрати, а у випадку використання синтетичного та відновлювального палив – менші, у порівнянні із традиційним дизельним паливом. Підвищення цетанового числа, а також теплоти згоряння палива є запорукою зниження величини його витрати. Підвищення густини володіє зворотною тенденцією – відбувається зростання витрат палива, що пояснюється тим, що відбувається збільшення розмірів крапель в процесі розпилення чим погіршується розпилення палива.

3.2. Розробка рекомендацій стосовно проведення діагностики дизельного двигуна під час використання біопалив

У зв'язку із конструкційними недоліками, недоліками діагностування, а також відсутністю можливостей проведення регулювання процесу подачі палива, під час застосування різних типів біопалива виникає проблема, що разом із зниженням кількості викидів вуглекислого газу, у деяких випадках можна отримати викиди не менш небезпечних речовин, стандарти на які на даний момент не поширюються. Наслідком чого є відсутність можливості проведення повної діагностики усіх типів шкідливих викидів у процесі застосування біопалива. Слід відмітити, що на сьогоднішній день, доволі незрозумілим лишається питання позиціонування біопалива як палива загалом. Під біопаливом розуміється будь-яке паливо, що отримується із сировини тваринного чи рослинного походження.

Згідно із Європейським стандартом EN590 на дизпаливо в останньому допускається присутність до 5 % різних біокомпонентів. Однак у порівнянні із бензином у який додається етанол, у дизельне паливо можна додавати різні види добавок. Однак, під час перевищення граничних 5 % починають з'являтися різні проблеми у двигунах. Найбільш поширеною сировиною для біопалива є сировина рослинного походження: насіння ріпаку, пальмова олія, а також соя. Зрозумілим є той факт, що при використанні різної сировини ми отримуємо і різний хімічний склад біопалива. У випадку недостатнього рафінування олій вони будуть мати, у своєму складі, різну кількість різного роду побічних елементів. Які, в свою чергу, можуть мати негативний вплив на потужність та надійність роботи автомобільного двигуна, а також можуть бути причиною зниження якості палива від дії зовнішніх чинників і часу.

З аналогічною проблемою можуть стикатися й автозаправні станції. На станціях, які продають біопаливо та знаходяться поблизу трас, якість палива може лишатися відносно постійною, що пов'язано із великим його

оборотом. Але на інших станціях біопаливо довго може знаходитися у підземних резервуарах, у зв'язку з чим, може відбуватися зниження його якісних характеристик. У випадку коли, склад палива має непостійну структуру яка змінюється з часом, то його використання є практично неможливим. Задачі щодо забезпечення стабільності роботи двигунів на біопаливі перетворюються на нездійсненні, оскільки неможливим є забезпечення належного ступеня хімічної стабільності матеріалів, коли у складі біопалива відбуваються постійні нерегульовані зміни. Налаштувати роботу двигуна на оптимальний показник споживання палива при постійно змінних характеристиках згоряння теж неможливо. Автомобільні двигуни будуть піддаватися постійній корозії, а паливна система буде постійно забиватися продуктами розпаду елементів палива. Виробники транспортних засобів змушені будуть вибирати чи вводити обмеження щодо гарантійних випадків чи банкрутувати.

На сьогоднішній день, ні один із автовиробників не має достатньої кількості як технічних засобів так і можливостей для проведення перевірки власних двигунів на можливість сумісності (несумісності) із сучасними видами біопалива при їх значній різноманітності. Вони теж піддаються значному ризику вкласти значні інвестиції у тривалий процес створення двигуна під певне паливо, що може пробути на ринку незначний проміжок часу, після чого буде витіснене з ринку новим більш прогресивним видом палива.

В світі ведуться постійні дослідження нових видів біопалива, які планується виготовляти вже не із сільськогосподарських культур чи спеціально вирощеної сировини, готувати із відходів – харчової промисловості, лісового комплексу й низки інших відходів органічного походження. Слід відмітити, що не всі автовиробники поширюють свою гарантію щодо працездатності двигунів на біопаливі марки В 100 (100 % біологічне).

Експериментальні дослідження щодо застосування в якості добавок до дизельного палива рослинних олій, які використовувалися для приготування їжі, показали достатньо негативний результат. Оскільки, сам по собі є проблемним процес змішування залишків палива і моторних олій у дизельних двигунах звичайних автомобілів. А застосування у вигляді палива олій рослинного походження, що не піддавалися процесу переестерифікації, а ще й без використання покращуючих добавок зумовлює те, що дані олії вступають у реакції із олівами, наслідком чого є утворення полімерів, характеристики яких не забезпечують нормальну роботоздатність двигунів.

Для формування рекомендацій та проведення оцінки впливу біопалив та їх сумішей на технічні, екологічні й економічні характеристики за експериментальний взірець взято двигун ЯМЗ-238М2. Експериментальні дослідження здійснювалися за умов регуляторних параметрів частоти обертання колінвалу в межах від 1400 об/хв (максимальне значення величини крутного моменту) до 2200 об/хв (значення номінальної потужності) із кроком 200 об/хв і за умови дії навантаження 80 – 100 % на різноманітних частотах колінвалу, а також за умов холостого ходу із частотами колінвалу від 800 об/хв (значення мінімальної стійкої частоти обертання) до 2300 об/хв (величина максимальної частоти обертання). Отримані результати потужності, екологічності й економічності роботи двигуна при використанні біопалива та біопаливних сумішей було співставлено з аналогічними показниками отриманими при використанні традиційного дизельного палива на відповідних режимах.

При усіх частотах обертання колінвалу та 100 % навантаженні максимальна потужність двигуна спостерігалася при його роботі на традиційному нафтовому дизпаливі, а трохи менша при використанні біопаливних сумішей. Слід відмітити, що по мірі підвищення кількості метилового ефіру олії ріпакової у паливній суміші дана різниця мала тенденцію до зростання, однак не більше 5 % (рис. 3.4).

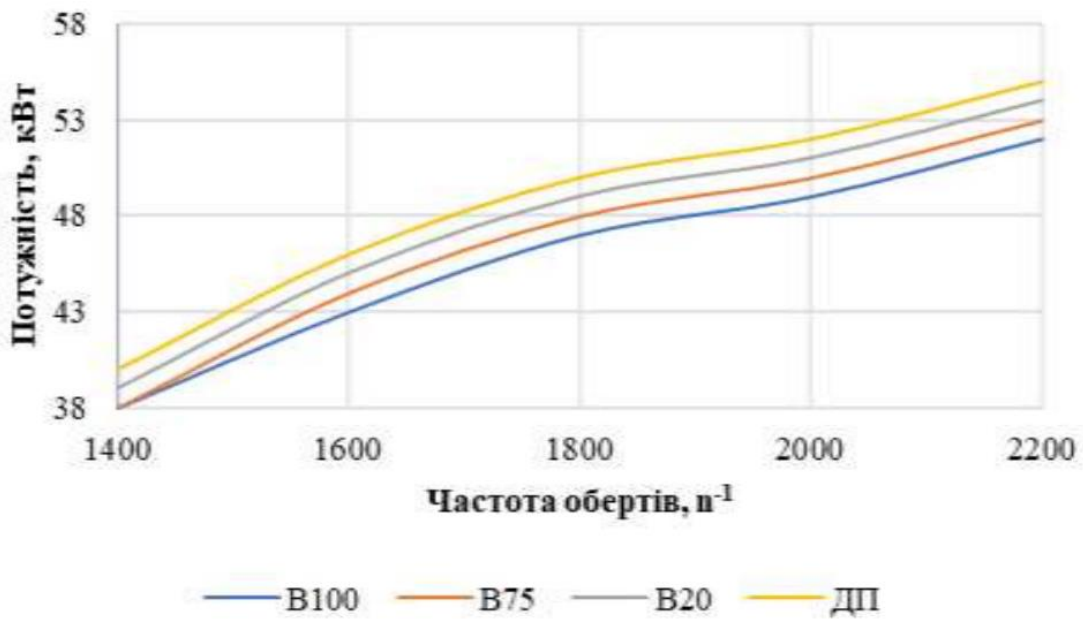


Рис. 3.4. Значення ефективної потужності двигуна ЯМЗ-238М2 при роботі на різних видах палива

У випадку номінального режиму роботи найбільшого зниження потужності та зростання годинної витрати палива було відмічено під час використання суміші В 75. Тоді значення потужності двигуна знизилася на 3,2 %, а показник годинної витрати палива збільшився на 8,3 %. Мінімальне зниження величини потужності (менше 1 %) та зростання годинної витрати палива (3,0 %) при номінальних режимах роботи було відмічено при використанні паливної суміші В 25.

У випадку регульованості характеристики двигуна при повному його навантаженні у діапазоні частот обертання колінчастого валу 1400 – 2200 об/хв значення максимального тиску циклу як під час використання дизельного палива так і при використанні усіх видів біопалива підвищується. Однак, слід відмітити, що при зростанні МЕРО у паливній суміші величина максимального тиску циклу знижується. Так, під час використання дизельного палива при номінальних режимах тиск перебував у межах – 7,52 МПа, у випадку використання В20 – 7,29 МПа, В75 – 7,04 МПа, а В100 – 6,94 МПа. Як бачимо, найвищий показник зменшення максимального тиску циклу становить 0,58 МПа (рис. 3.5).

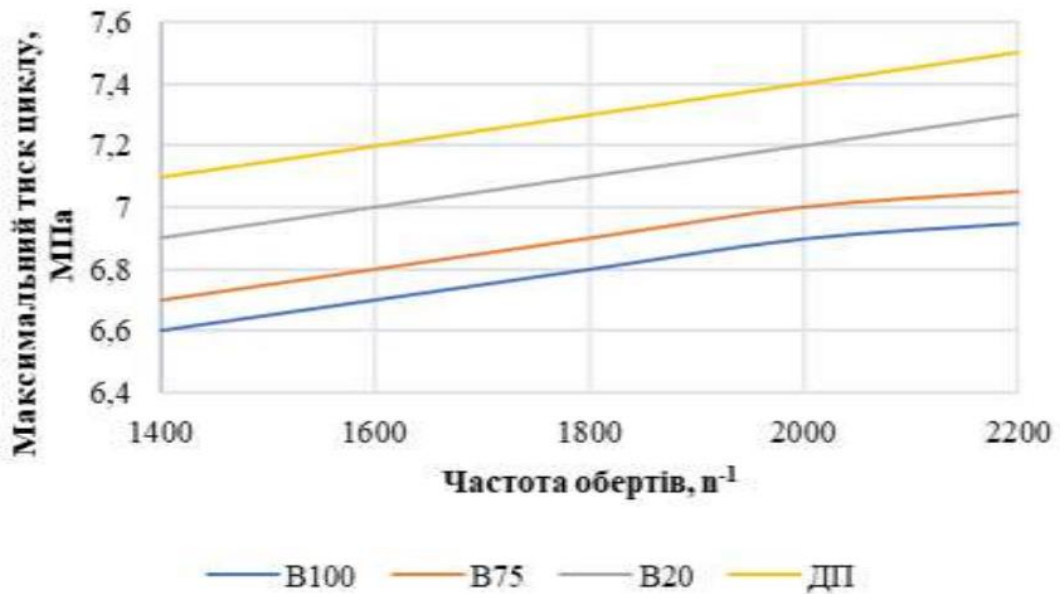


Рис. 3.5. Значення максимальної величини тиску циклу двигуна ЯМЗ-238М2 в процесі його роботи на різних видах палива

Проводячи огляд екологічних показників, найнижчою концентрацією у відпрацьованих газах шкідливих речовин при роботі на номінальних режимах є робота двигуна на В100. Проводячи порівняння із роботою на дизельному паливі величина концентрації оксиду вуглецю зменшується на 27 %, вуглеводнів – 34 %, сажі – 15% (рис. 3.6 – 3.8).

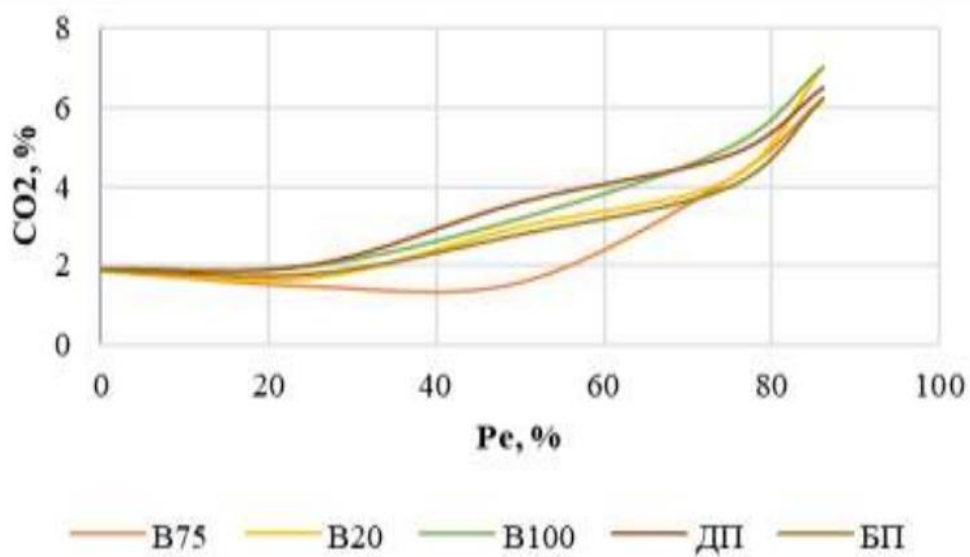


Рис. 3.6. Графік залежності викидів CO_2 від потужності при роботі на різних видах палива

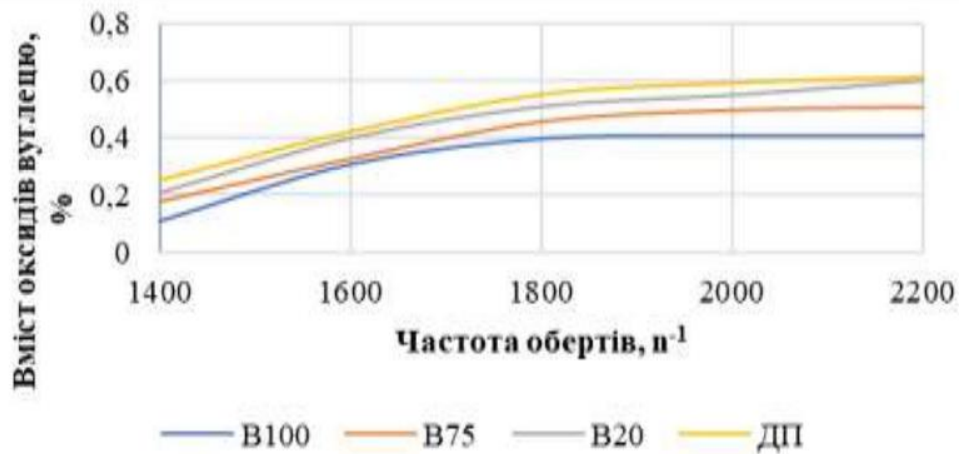


Рис. 3.7. Графік залежності викидів оксиду вуглецю від частоти обертання колінчастого валу при роботі на різних видах палива

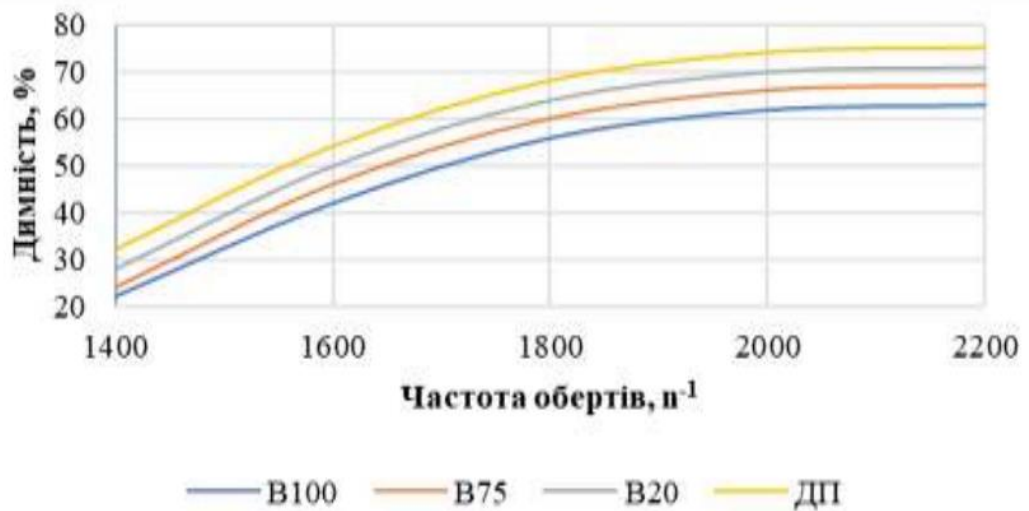


Рис. 3.8. Графік залежності димності двигуна від частоти обертання колінчастого валу при роботі на різних видах палива

Розробку рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування біопалива для дизельних двигунів пропонується проводити відповідно до системи показників кожного із чотирьох етапів (рис. 3.9).

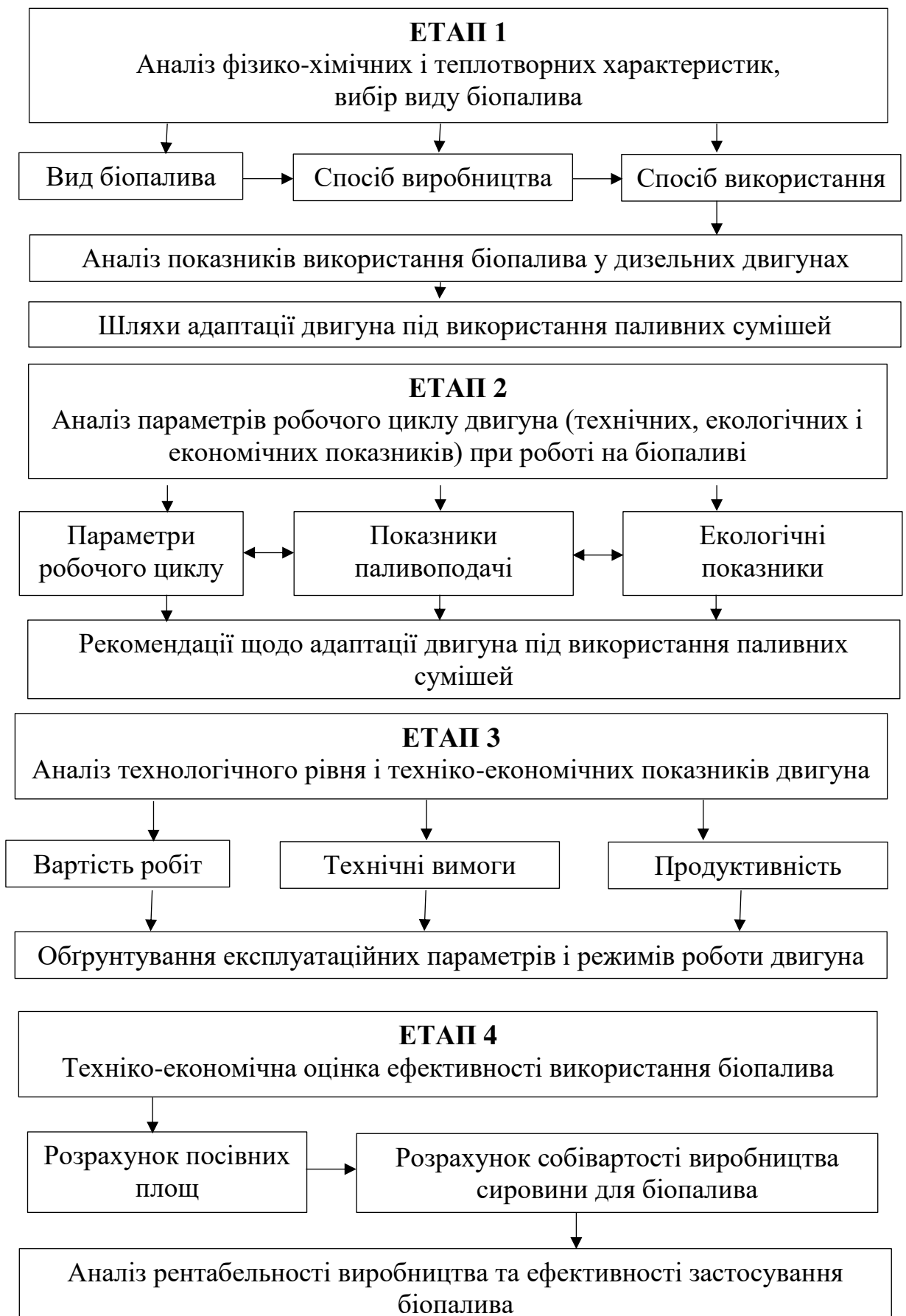


Рис. 3.9. Структурно-логічна схема аналізу показників ефективності застосування біопалива

Першим етапом є проведення аналізу фізико-хімічних і теплотворних характеристик біопалива, прослідковується відповідність даних характеристик традиційному дизельному паливу, проводиться вибір виду біопалива палива для дизельних двигунів, робиться розробка шляхів адаптації двигунів під використання паливних сумішей. На сьогоднішній день, з метою адаптації дизельних двигунів до їх роботи на біопаливі, без значних змін їх конструкції, найбільш задовільним видом альтернативного палива є паливні суміші, які являють собою композиції із з традиційного нафтового дизельного палива та біопаливної складової.

Другим етапом є проведення експериментальні дослідження параметрів робочого циклу двигуна (технічних, екологічних і економічних показників) при роботі на біопаливі. Під час даних досліджень проводиться порівняльний аналіз на безмоторному стенді роботи паливної апаратури та на гальмівній установці в процесі роботи двигуна на традиційному дизпаливі й різних типах паливних сумішей. Результатом експериментальних досліджень є встановлення оптимального співвідношення між традиційним і біологічним паливами у паливній суміші, формуються практичні рекомендації щодо конструктивної адаптації двигуна під використання паливних сумішей.

Третім етапом є проведення аналізу технологічного рівня і техніко-економічних показників дизельного двигуна в умовах експлуатації на паливних сумішах. Під час цього відбувається встановлення оптимальних режимів проведення технологічних процесів, якими встановлюються робочі швидкості дизельного двигуна, проводиться визначення продуктивності та вартості робіт.

Четвертим етапом є проведення техніко-економічної оцінки ефективності використання паливної суміші. На даному етапі проводиться планування площ під посів біокультури із розрахунку річних потреб у біопаливі. Визначається собівартість виробництва біопалива та його сумішей, що залежить від технологічного процесу його виробництва. До

основних витрат належать витрати на утримання виробничих будівель, устаткування та заробітна плата, ціна насіннєвого матеріалу та енергоресурсів.

Отже, проводячи аналіз зроблених досліджень під час роботи дизельного двигуна на біопаливі та паливних сумішах і проводячи їх порівняння із роботою на традиційному дизельному паливі, слід відмітити наступне: найкращим видом паливної суміші, з погляду на найнижче падіння потужності та зростання витрат палива, є паливна суміш В25; відповідно до екологічних показників – В100. На кожному із досліджуваних режимів роботи дизельного двигуна при використанні біопаливних сумішей відмічалось незначне падіння потужності (1,4 – 5,2 %), а також зростання величини годинної витрати палива (6,4 – 10,8 %), такі зміни можна пояснити тим, що паливні суміші володіють меншою теплотою згоряння (через нижчу теплотворну здатність біопалива).

Висновки до розділу 3

В процесі застосування альтернативних видів палива для автомобілів, які працюють на дизельному паливі, процес моделювання витрат палива не є простою задачею. Оскільки, альтернативні види палива володіють іншими фізичними характеристиками у порівнянні із традиційним дизельним паливом. Переносити відомі моделі витрат дизельного палива на альтернативні види палив є помилковим рішенням. Витрата альтернативних видів палива транспортними засобами у процесі їх експлуатації потребує додаткових досліджень. У більшості випадків, визначення витрат альтернативних палив проводять експериментально.

Проведене моделювання, підтверджене експериментальними даними показало, що випадку використання біодизельного палива ми матимемо вищі показники витрати, а у випадку використання синтетичного та відновлювального палив – менші, у порівнянні із традиційним дизельним

паливом. Підвищення цетанового числа, а також теплоти згоряння палива є запорукою зниження величини його витрати. Підвищення густини володіє зворотною тенденцією – відбувається зростання витрат палива, що пояснюється тим, що відбувається збільшення розмірів крапель в процесі розпилення чим погіршується розпилення палива.

Проводячи аналіз зроблених досліджень під час роботи дизельного двигуна на біопаливі та паливних сумішах і проводячи їх порівняння із роботою на традиційному дизельному паливі, слід відмітити наступне: найкращим видом паливної суміші, з погляду на найнижче падіння потужності та зростання витрат палива, є паливна суміш В25; відповідно до екологічних показників – В100. На кожному із досліджуваних режимів роботи дизельного двигуна при використанні біопаливних сумішей відмічалось незначне падіння потужності (1,4 – 5,2 %), а також зростання величини годинної витрати палива (6,4 – 10,8 %), такі зміни можна пояснити тим, що паливні суміші володіють меншою теплотою згоряння (через нижчу теплотворну здатність біопалива).

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Виконані в кваліфікаційній роботі дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Підвищення екологічності транспортних засобів можна забезпечити за рахунок використання альтернативних видів палива.

2. Альтернативні види палива, окрім підвищення екологічних показників транспортних засобів, мають задовольняти низку вимог: не погіршувати технічні характеристики двигунів, володіти низькою вартістю тощо.

3. До альтернативних видів моторних палив відносять: газові палива природного походження (зріджений і стиснутий газ); синтетичні палива (біопалива тваринного та рослинного походження; усі види синтетичних спиртів; газовий конденсат; диметиліві ефіри (ДМЕ); водень та інші); вторинні ресурси, що виникають в процесі переробки рідких і твердих палив.

4. Масове застосування переважної більшості альтернативних видів моторних палив є обмежене, що пояснюється наступними причинами: важкістю зберігання (водень); високою токсичністю (метанол, газовий конденсат); значним погіршенням техніко-економічних характеристик двигунів.

5. Провівши аналіз теоретичних основ використання альтернативних видів палива для дизельних двигунів було встановлено, що використання у вигляді палива суміші Б30, яка містить 30 % біопалива, у порівнянні із традиційним дизельним паливом дозволяє покращити показники екологічності транспортного засобу за усіма складниками (CO , C_nH_m , NO_x та сажею) до – 15 %.

6. З метою проведення досліджень, направлених на підвищення екологічності дизельних двигунів, а саме встановлення режимів роботи останніх, що є характерними для реальних умов роботи транспортних

засобів, було використано моторний стенд з двигуном ЗМЗ-5143. Даний стенд було обрано з метою зниження витрат палива, а також з даним стендом зручно працювати (має вільний доступ для розташування давачів та вимірювального обладнання).

7. Дослідження були проведені з метою встановлення основних екологічних характеристик при використанні традиційного дизельного палива, біопалива, а також їх бінарних сумішей.

8. Аналіз показує, що по мірі підвищення кількості біопалива в бінарній суміші спочатку спостерігається зниження кількості продуктів неповного згоряння у відпрацьованих газах. Такий результат можна пояснити тим, що молекулярна структура біопалива містить певну кількість кисню, який забезпечує більш повне згоряння паливної суміші. А при подальшому підвищенні долі біопалива відбувається підвищення показників в'язкості та густини суміші, що в свою чергу, створює негативний ефект на процеси впорскування та розпилення паливної суміші форсунками.

9. Проведене моделювання, підтверджене експериментальними даними показало, що випадку використання біодизельного палива ми матимемо вищі показники витрати, а у випадку використання синтетичного та відновлювального палив – менші, у порівнянні із традиційним дизельним паливом. Підвищення цетанового числа, а також теплоти згоряння палива є запорукою зниження величини його витрати. Підвищення густини володіє зворотною тенденцією – відбувається зростання витрат палива, що пояснюється тим, що відбувається збільшення розмірів крапель в процесі розпилення чим погіршується розпилення палива. На кожному із досліджуваних режимів роботи дизельного двигуна при використанні біопаливних сумішей відмічалось незначне падіння потужності (1,4 – 5,2 %), а також зростання величини годинної витрати палива (6,4 – 10,8 %), такі зміни можна пояснити тим, що паливні суміші володіють меншою теплотою згоряння (через нижчу теплотворну здатність біопалива).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобілі і трактори [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Є. С. Венцель, В. М. Гончаров ; Укр. держ. акад. залізничного трансп. . - Х. : [б. в.], 2009. - 103 с.
2. Анісімов В.Ф., Яцковський В.І., Музичук В.І., Рябошапка В.Б., П'ясецький А.А. Зменшення впливу фізико-хімічних і біологічних особливостей біопалива на якість роботи двигуна. Вібрації в техніці та технологіях. №2(62). Вінниця 2011. С. 114-119.
3. Анісімов В. Ф., Яцковський В. І., П'ясецький А. А. Рябошапка В. Б. Напрямки створення багатопаливних двигунів на базі дизельного циклу. Промислова гідравліка і пневматика. 2011. №2 (32). С. 100-105.
4. Бойченко С. В., Яковлева А. В., Наумчук Г. О. 2015. Розрахунок та порівняльний аналіз викидів деяких відпрацьованих газів під час використання традиційних та альтернативних авіаційних палив. Наукоємні технології № 1 (25).
5. Бурлака С.А. Удосконалення системи живлення дизельного двигуна для роботи на біопаливі та його сумішах. Science, society, education: topical issues and development prospects: Abstracts of VI international scientific and practical conference, Kharkiv, Ukraine, 10-12 may 2020 p. 2020. С. 205-212.
6. Верес М.В. Стенди для ремонту двигунів (стапелі) / М. В. Верес, Р. І. Розум, П. Б. Прогній // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції „Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики“, 29-30 вересня 2022 року. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 153.
7. Верес Марія, Розум Руслан. Методологічні особливості ремонту та технічного обслуговування двигунів вантажних автомобілів. Інноваційний розвиток освіти, науки, бізнесу, суспільства та довкілля в умовах воєнного стану: матеріали VII Національної науково-практичної

конференції студентів і молодих вчених [Тернопіль, 20 травня 2022 р.].
Тернопіль: Вектор, 2022. С.57-58.

8. Галуцак О.О. Поліпшення показників автомобіля шляхом впливу на робочі процеси дизеля при роботі на суміші палив: дис. канд. техн. наук: 05.22.02. Вінниця, 2017. 178 с.

9. Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Семенов В. Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 152 с.

10. Гунько І.В., П'ясецький А.А., Бурлака С.А. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2 (97). С.47-51.

11. Гунько І.В., Бурлака С.А., Єленич А.П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.

12. Говорун А.Г., Павловський М.В., Куций П.В. [та ін.]. Оцінка паливної економічності та екологічних показників автомобіля в режимах Європейського їздового циклу, за роботи на штатному та сумішевих біодизельних паливах.

13. Колодницька Р.В. Моделювання витрати палива для автомобільного транспорту з врахуванням транспортних технологій. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Вип. 33 (72) № 2. С. 201–208.

14. Колодницька Р.В. Процеси випаровування та згоряння дизельного біопалива у двигунах внутрішнього згоряння: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2018. 192 с.

15. Захарчук О.П. Оцінка довговічності металоконструкцій автотранспортних засобів / М. В. Буряк, Р. І. Розум, П. Б. Прогній, П. В.

Попович, О. С. Шевчук // Вісник машинобудування та транспорту. Зб. наук. Ст (15). - Луцьк, 2022.- С. 11-16.

16. Маркович, С. І. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / С. І. Маркович, О. В. Бевз; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 334 с.

17. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. Машинобудування та транспорт. 2018. № 2. С. 1- 13.

18. Мисак Т. В. Експлуатаційна надійність колісних транспортних засобів / Т. В. Мисак, П. Б. Прогній, М. В. Буряк // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції „Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики“, 29-30 вересня 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 152.

19. Основи теорії та розрахунку трактора і автомобіля [Текст] : курс лекцій для студ. за напр. підготов. "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / П. К. Охмат, В. І. Мельниченко ; М-во аграр. політики України, Дніпропетровський держ. аграр. ун-т, каф. "Трактори та автомобілі" . - Дніпропетровськ : ЕНЕМ, 2009. - 320 с.

20. Ошовський, В. Я. Взаємодія рослинних олій з робочими контактними поверхнями деталей паливної апаратури дизельних двигунів / В. Я. Ошовський, О. І. Грабовенко, І. А. Швець. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний науково-технічний збірник ЦНТУ. – 2019. – 186с.

21. Пат. 151462 У Україна, МПК (2006) G01H 17/00, F02B 1/00. Спосіб діагностики автомобільних двигунів / Р. І. Розум, П. В. Попович, М. В. Буряк, В. Я. Брич, О. С. Шевчук, О. П. Захарчук, О. В. Чорна, Н. М. Фалович (Україна); заявник та патентовласник Р. І. Розум, П. В. Попович, М. В. Буряк, В. Я. Брич, О. С. Шевчук, О. П. Захарчук, О. В. Чорна, Н. М. Фалович. – № u202200406; заявл. 01.02.2022; опубл. 27.07.2022, бюл. № 30.

22. Попович П.В., Шевчук О. С., Дзядижевич Ю.В., Захарчук О.П., Прогній П.Б., Маяк М.М., та ін. Пошукове конструювання колісних транспортних засобів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - ЛНТУ. Луцьк, 2021. С.54-65.

23. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720 с.

24. Розум Р. І. Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів / Розум Р. І., Буряк М. В., Попович П. В., Прогній П. Б., Захарчук О. П. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті Зб. наук. ст. - Луцьк, 2022.- С. 138-142.

25. Розум Р.І., Корбак С.І. Двигуни: минуле і сьогодення / Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Матеріали III Міжнародної наукової інтернет-конференції. Тези доповідей (20-22 жовтня 2021 р.). Київ, 2021. С. 312.

26. Семенов В.Г. Вплив типу сумішоутворення на показники дизеля при роботі на біодизельному і дизельному паливі / Семенов В.Г., Васильєв І.П., Атамась А.І. // Вісник Кремен. держ. політ. університету ім. М. Остроградського. Наукові праці КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2008. – Вип. 2/2008(49) Частина 1. – с. 101– 105.

27. Семенов В.Г. Показники дизеля під час роботи на біодизельних паливах рослинного та тваринного походження / Семенов В.Г., Васильєв І.П., Атамась А .І. // Вісник Кремен. держ. політ. університету ім. М. Остроградського. Наукові праці КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2009. – Вип. 2/2009(55) Частина 1. – с. 78 – 81.

28. Семенов В.Г. Модель процесу сумішеутворення та згорання біопалива в дизельному двигуні / В. Г. Семенов, В. І. Яцковський, Р. О. Яцковська // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. - 2012. - Вип. 10(1). - С. 104-106.

29. С.О. Пахарєв, Р.Ф. Сапожников, О.Я. Терещенко. Загальна будова автомобіля. Посібник з дисципліни "Автомобільна техніка". За ред. С.О. Пахарєва. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2010. – 392 с.

30. Татарин Альбіна, Розум Руслан. Методи відновлення блоків циліндрів двигуна автомобіля. Інноваційний розвиток освіти, науки, бізнесу, суспільства та довкілля в умовах воєнного стану: матеріали VII Національної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених [Тернопіль, 20 травня 2022 р.]. Тернопіль: Вектор, 2022. С.62-63.

31. Трактори і автомобілі: Навчальний посібник / В.С.Бучок. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 331 с.

32. Трактори та автомобілі [Текст] : навч. посіб. для підготовки фахівців з напрямку "Механізація та електрифікація сільського господарства" в аграр. вищих навч. закладах I-IV рівнів акредитації. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання / В. М. Антощенков, М. П. Артьомов, М. Ф. Бойко та ін; За ред. : А. Т. Лебедева. - Х. : [б. в.], 2006. - 165 с.

33. Трактори та автомобілі: навч. посіб. Ч.3. Шасі / А.Т. Лебедев, В.М. Антощенков, М.Ф. Бойко, Д.І. Мазоренко та ін.; За ред. А.Т. Лебедева. - К. : Вища освіта, 2004. - 336 с.

34. Фалович Н.М., Верес М.В., Розум Р.І. та інші. Огляд обладнання для діагностики та ремонту двигунів внутрішнього згорання. Наукові записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки: 2022. 33 (72). № 5 Видавнича група «Гельветика». – С.325-329.

35. Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T., and Mikkonen, S. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy-Duty Engine. SAE Int. J. Engines. 2009. № 1(1). P. 1251-1262.

36. Dimitriadis A, Natsios I, Dimaratos A, Katsaounis D, Samaras Z, Bezergianni S and Lehto K. Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine. *Front. Mech. Eng.* 2018. № 4. P. 7.

37. Folkson R. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance (Second Edition). Towards Zero Carbon Transportation.* Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2022. P. 1 – 16.

38. Hrevtsev, O., Selivanova, N., Popovych, P., Hrytsanchuk, A., Romanyschyn, O. Simulation of thermomechanical processes in disc brakes of wheeled vehicles. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2021, 104(1), pp. 11-20.

39. Hrevtsev, N. Selivanova, P. Popovych, L. Poberezhny, Yu. Rudyak, O. Shevchuk, L. Poberezhna, A. Ivanova, O. Shashkevych, A. Hrytsanchuk, O. Zakharchuk. Evaluation of stress-strain state of vehicles' metal structures elements. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2022, 113(2), pp. 77–85.

40. Mahmudul H. M., Hagos F. Y., Mamat R., Adam A.A., Ishak W.F.W., Alenezi R. Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews.* 2017. № 72. Pp 497–509.

41. McCarthy P., Rasul M.G. and Moazzem S. Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel. *International Journal of Low-Carbon Technologies.* 2011. № 6. P. 255–260.

42. O. Grevtsev, N. Selivanova, P. Popovych, L. Poberezhny, Yu. Rudyak, O. Shevchuk, L. Poberezhna, V Ostroverkhov, O. Shashkevych, O. Zakharchuk. Determination of thermomechanical stresses in elements of vehicles' braking systems.

43. O. Grevtsev, N. Selivanova, V. Brych, O. Shevchuk, R. Rozum and Y. Rudyak, "Mathematical Modeling of the Stress-strain State in Variable Thickness Axial Bodies," 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 2022, pp. 211-214.

44. Rozum R.I., Buriak M. V., Zakharchuk O. P. Innovative engines in the history of automobile building. Modern engineering and innovative technologies. Issue 18 / Part 2. Sergeieva&Co Karlsruhe, Germany 2021. P. 64 – 67.
45. Rozum R.I., Shevchuk O. S., Prohnii P. B. Optimization of working processes of internal combustion engines with the purpose of improving their environmentality. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany) 2022. – Issue 19. Part 1. – P. 147-150.
46. Kroyan Y., Wojcieszuk M., Kaario O., Larmi M., Zenger K. Modeling the end-use performance of alternative fuels in light-duty vehicles. Energy. 2020. № 205. P. 117854.
47. Fuel Consumption and CO₂. London, 2021. URL: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fuelconsumption-co2/> (дата звернення: 20.03.2023).
48. Krivoschapov S. I. et al. Calculation methods for determining of fuel consumption per hour by transport vehicles. IOP Conf. Series. Mater. Sci. Eng. 2020. 39772004.
49. Shvets I. Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil / I. Shvets , O. Hrabovenko , S. Dotsenko , V. Nesterenko // Transport Means 2020 : Proceedings of 24th International Scientific Conference, September 30 - October 02 , 2020, Kaunas, Lithuania, 2020 – p. 671-675.
50. Vehicle Certification Agency. Car fuel data, CO₂ and vehicle tax tools. London, 2021.URL: [https:// carfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/](https://carfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/)
51. Tira H.S., Herreros J.M., Tsolakis A., Wyszynski M.L. Characteristics of LPG-diesel dual fuelled engine operated with rapeseed methyl ester and gas-to-liquid diesel fuels. Energy. 2012. No. 47. P. 620 – 629.