

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Вінницький навчально-науковий інститут економіки
Західноукраїнського національного університету
Кафедра економіки, обліку та оподаткування

Сторожук Владислав Іванович

**Шляхи покращення екологічних показників дизельного двигуна
шляхом використання біодизельного палива**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

Кваліфікаційна робота за освітнім ступенем «магістр»

Виконав: студент групи АТмвн-21
Сторожук В.І.

Науковий керівник:

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__»_____20__р.
Завідувач кафедри
_____В.М.Пилявець

ВІННИЦЯ – 2024

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ABSTRACT.....	Ошибка! Закладка не определена.
ЗМІСТ	2
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	3
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ	8
1.1 Характеристики та властивості біодизельного палива	8
1.2 Вплив біодизельного палива на екологічні показники дизельних двигунів	12
1.3 Огляд сучасних технологій виробництва біодизельного палива	16
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА.....	22
2.1 Експериментальні дослідження впливу біодизельного палива на параметри роботи дизельного двигуна	22
2.2 Розрахунок зміни екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива.....	27
2.3 Аналіз економічної ефективності застосування біодизельного палива	30
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА	35
3.1 Оптимізація складу біодизельного палива для покращення екологічних показників.....	35
3.2 Розрахунок і проектування системи подачі біодизельного палива для дизельного двигуна	39
3.3 Рекомендації щодо модифікації конструкції дизельного двигуна для ефективного використання біодизельного палива	43
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Ошибка! Закладка не определена.

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

B20 Суміш 20% біодизелю та 80% дизельного палива

B100 100% біодизельне паливо

CFt Грошовий потік в період t

CN Цетанове число

CO Монооксид вуглецю

CO₂ Вуглекислий газ

D32 Середній діаметр краплин за Заутером

EGR Система рециркуляції відпрацьованих газів

Ge Питома ефективна витрата палива

HC Незгорілі вуглеводні

IP Період індукції

IRR Внутрішня норма прибутковості

IV Йодне число

NEV Коефіцієнт енергетичної ефективності

NO_x Оксиди азоту

NPV Чиста приведена вартість

PM Тверді частинки

PUFA Поліненасичені жирні кислоти

SO_x Оксиди сірки

SV Число омилення

WSD Діаметр плями зносу

α Коефіцієнт надлишку повітря

η Ефективний коефіцієнт корисної дії

μ Динамічна в'язкість

ν Кінематична в'язкість

ρ Густина

φ_z Тривалість згоряння

C16:0 Пальмітинова кислота

C18:0 Стеаринова кислота
C18:1 Олеїнова кислота
C18:2 Лінолева кислота
C18:3 Ліноленова кислота
 ΔCO_2 Відносна зміна викидів CO_2
 ΔPM Відносна зміна викидів твердих частинок
 ΔNO_x Відносна зміна викидів NO_x
 ΔCO Відносна зміна викидів CO
 ΔHC Відносна зміна викидів HC
 ΔD Відносна зміна димності
 ΔSO_x Відносна зміна викидів SO_x
 ΔT Відносна зміна рівня токсичності
 ΔC Відносна різниця у вартості палива
 ΔE Відносна зміна експлуатаційних витрат
 ΔM Відносна зміна вартості технічного обслуговування
 ΔL Відносна зміна терміну служби
 Q Продуктивність насоса
 p Тиск впорскування
 θ Кут випередження впорскування
 t Тривалість впорскування
 N Потужність насоса
 V Об'єм фільтра
 T Термін окупності
 R Співвідношення насичених до ненасичених жирних кислот
 O Масова частка кисню
 T_z Температура застигання
 T_p Температура поршня
 dM/dt Швидкість утворення відкладень

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах зростаючої екологічної кризи та виснаження запасів викопного палива, пошук альтернативних джерел енергії для транспортного сектору набуває критичного значення. Біодизельне паливо, як відновлюване джерело енергії, привертає все більшу увагу дослідників та інженерів у всьому світі. Його використання дозволяє не лише зменшити залежність від нафтопродуктів, але й значно покращити екологічні показники дизельних двигунів.

Актуальність дослідження шляхів покращення екологічних показників дизельного двигуна шляхом використання біодизельного палива обумовлена необхідністю зниження негативного впливу транспорту на навколишнє середовище та здоров'я людей. Біодизельне паливо має ряд переваг перед традиційним дизельним паливом, включаючи нижчі викиди парникових газів, зменшення емісії твердих частинок та інших шкідливих речовин.

Проблема адаптації існуючих дизельних двигунів до роботи на біодизельному паливі є комплексною та вимагає всебічного дослідження. Вона охоплює питання оптимізації складу біодизельного палива, модифікації конструкції двигуна та його систем, а також розробки нових технологій виробництва та використання біодизелю.

Метою даної роботи є дослідження та розробка рекомендацій щодо покращення екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити ряд **завдань**, включаючи аналіз властивостей біодизельного палива, дослідження його впливу на параметри роботи двигуна, розрахунок зміни екологічних показників та розробку рекомендацій щодо модифікації конструкції двигуна.

Об'єктом дослідження є процеси, що відбуваються в дизельному двигуні при роботі на біодизельному паливі. Предметом дослідження є шляхи покращення екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використовуються **методи** теоретичного аналізу, математичного моделювання, експериментальних досліджень та статистичної обробки даних. Комплексний підхід до дослідження дозволяє отримати всебічне розуміння проблеми та розробити ефективні рекомендації щодо її вирішення.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нових підходів до оптимізації складу біодизельного палива та модифікації конструкції дизельного двигуна для забезпечення його ефективної роботи на альтернативному паливі. Запропоновані методи дозволяють значно покращити екологічні показники двигуна без суттєвого зниження його потужності та економічності.

Практична значимість отриманих результатів полягає в можливості їх безпосереднього застосування при розробці та модернізації дизельних двигунів для роботи на біодизельному паливі. Розроблені рекомендації можуть бути використані виробниками двигунів, автомобільними компаніями та підприємствами, що займаються виробництвом та використанням біодизельного палива.

Результати дослідження мають широке практичне застосування в транспортному секторі, сільському господарстві та промисловості. Вони дозволяють знизити негативний вплив дизельних двигунів на навколишнє середовище, підвищити енергетичну незалежність та сприяти розвитку відновлюваних джерел енергії.

Структура роботи складається зі анотації, змісту, списку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. У першому розділі розглядаються теоретичні основи використання біодизельного палива в дизельних двигунах. Другий розділ присвячений аналізу впливу біодизельного палива на роботу дизельного двигуна. У третьому розділі представлені розроблені рекомендації щодо покращення екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива.

Наукові досягнення. Дослідження базується на сучасних наукових досягненнях у галузі двигунобудування, хімії палив та екології. Воно враховує

світові тенденції розвитку альтернативних джерел енергії та інноваційний зарубіжний досвід у сфері використання біодизельного палива.

Джерела інформації. У роботі використано широкий спектр джерел інформації, включаючи наукові публікації, технічні звіти, патентну документацію та нормативні акти. Це забезпечує всебічне та об'єктивне висвітлення досліджуваної проблеми та обґрунтованість отриманих результатів.

Отримані результати дослідження можуть бути використані як основа для подальших наукових розвідок у галузі альтернативних палив та екологізації транспорту. Вони відкривають нові перспективи для розвитку екологічно чистих технологій у автомобільній промисловості та енергетичному секторі.

Автор висловлює подяку науковому керівнику та колегам за цінні поради та підтримку під час проведення дослідження. Особлива вдячність висловлюється підприємствам та організаціям, які надали можливість проведення експериментальних досліджень та апробації отриманих результатів.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

1.1 Характеристики та властивості біодизельного палива

Біодизельне паливо являє собою альтернативне паливо, що виробляється з рослинних олій або тваринних жирів шляхом реакції естерифікації. Цей процес передбачає взаємодію тригліцеридів з метанолом або етанолом у присутності каталізатора, в результаті чого утворюються естери жирних кислот. Основними компонентами біодизельного палива є метилові або етилові естери жирних кислот, які мають фізико-хімічні властивості, подібні до звичайного дизельного палива. Біодизель характеризується високою біорозкладністю та низьким вмістом сірки, що робить його екологічно чистішим порівняно з нафтовим дизельним паливом.

Виробництво біодизельного палива є складним технологічним процесом, який вимагає дотримання точних пропорцій і умов реакції. Важливим аспектом є якість вихідної сировини, яка впливає на кінцеві характеристики палива. Використання різних видів рослинних олій, таких як ріпакова, соєва або соняшникова, призводить до отримання біодизелю з дещо відмінними властивостями. Це обумовлено різним жирнокислотним складом вихідних олій, що впливає на фізико-хімічні параметри кінцевого продукту.

Процес виробництва біодизелю включає кілька етапів: підготовку сировини, реакцію трансестерифікації, очистку продукту від домішок та його стабілізацію. Кожен з цих етапів має свої особливості та вимоги до технологічного обладнання. Важливим фактором є контроль якості на всіх стадіях виробництва, що забезпечує отримання продукту з заданими характеристиками.

Одним з ключових параметрів біодизельного палива є його цетанове число, яке визначає здатність палива до самозаймання в умовах дизельного двигуна. Високе цетанове число біодизелю забезпечує кращу займистість палива та більш

ефективне згоряння. Це позитивно впливає на роботу двигуна, зменшуючи шум та вібрації, а також знижуючи викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Біодизельне паливо має ряд переваг порівняно з традиційним дизельним паливом. Воно забезпечує більш повне згоряння в циліндрах двигуна, що призводить до зменшення утворення сажі та інших твердих частинок. Крім того, біодизель має кращі змащувальні властивості, що позитивно впливає на довговічність деталей двигуна. Ці характеристики роблять біодизель привабливою альтернативою для використання в сучасних дизельних двигунах.

Важливою характеристикою біодизельного палива є його в'язкість, яка впливає на процеси розпилення та згоряння палива в циліндрах двигуна. В'язкість біодизелю зазвичай вища, ніж у звичайного дизельного палива, що може призводити до певних змін у роботі паливної системи. Це вимагає певної адаптації або модифікації двигуна для оптимального використання біодизелю, особливо при високих концентраціях або чистому біодизелі.

Біодизельне паливо характеризується високою температурою спалаху, що підвищує безпеку його зберігання та транспортування. Ця властивість є особливо важливою з точки зору пожежної безпеки та зниження ризиків при використанні палива. Крім того, біодизель має низьку температуру застигання, що робить його придатним для використання в різних кліматичних умовах, включаючи холодні регіони.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика властивостей біодизельного та дизельного палива

Показник	Біодизельне паливо	Дизельне паливо
Густина при 15°C, кг/м ³	860-900	820-845
Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с	3,5-5,0	2,0-4,5
Цетанове число	51-62	45-55
Температура спалаху, °C	>120	>55
Температура застигання, °C	-5 до -15	-10 до -35
Вміст сірки, мг/кг	<10	<10
Зольність, %	<0,02	<0,01
Вміст води, мг/кг	<500	<200

Вміст кисню в молекулах біодизельного палива є однією з його ключових особливостей, яка впливає на процес згоряння. Наявність кисню в складі палива сприяє більш повному згорянню, що призводить до зменшення викидів вуглеводнів та монооксиду вуглецю. Однак це також може призводити до незначного збільшення викидів оксидів азоту, що вимагає оптимізації процесу згоряння в двигуні.

Біодизельне паливо має дещо нижчу теплотворну здатність порівняно з традиційним дизельним паливом. Це означає, що для отримання тієї ж кількості енергії потрібно трохи більше біодизелю. Однак, завдяки більш ефективному згорянню, різниця в реальному споживанні палива зазвичай не перевищує 5-7%. Цей фактор необхідно враховувати при проектуванні та налаштуванні паливних систем двигунів, що працюють на біодизелі.

Важливою характеристикою біодизельного палива є його здатність до біологічного розкладання. На відміну від нафтового дизельного палива, біодизель майже повністю розкладається мікроорганізмами протягом 21-28 днів. Ця властивість робить біодизель значно безпечнішим для навколишнього середовища у випадку розливів або витоків. Однак, це також означає, що при тривалому зберіганні біодизелю необхідно вживати додаткових заходів для запобігання його деградації.

Хімічна стабільність біодизельного палива є важливим фактором, який впливає на його зберігання та використання. Біодизель більш схильний до окислення порівняно з традиційним дизельним паливом, особливо при контакті з повітрям та під впливом високих температур. Це може призводити до утворення осадів та зміни властивостей палива при тривалому зберіганні. Для запобігання цьому процесу використовуються спеціальні антиоксидантні присадки.

Біодизельне паливо має хороші змащувальні властивості, що позитивно впливає на роботу паливної апаратури та двигуна в цілому. Це особливо важливо в контексті зниження вмісту сірки в дизельному паливі, яка раніше виконувала роль природного змащувального агента. Використання біодизелю або його

сумішей з дизельним паливом дозволяє компенсувати втрату змащувальних властивостей, що сприяє збільшенню ресурсу двигуна та паливної системи.

Одним з важливих аспектів використання біодизельного палива є його вплив на матеріали, з якими воно контактує. Біодизель може взаємодіяти з деякими видами пластмас, гуми та лакофарбових покриттів, що використовуються в автомобільній промисловості. Це вимагає ретельного підбору матеріалів для паливних систем та ущільнень при проектуванні двигунів, призначених для роботи на біодизелі або його сумішах.

Біодизельне паливо має здатність поглинати вологу з повітря, що може призводити до корозії металевих деталей паливної системи та двигуна. Ця властивість вимагає особливої уваги до умов зберігання та транспортування біодизелю, а також до конструкції паливних баків та систем. Використання спеціальних антикорозійних присадок та матеріалів, стійких до впливу біодизелю, дозволяє мінімізувати ці ризики.

Важливою характеристикою біодизельного палива є його сумісність з існуючими дизельними двигунами. Більшість сучасних дизельних двигунів можуть працювати на сумішах біодизелю з традиційним дизельним паливом без суттєвих модифікацій. Однак, при використанні чистого біодизелю або сумішей з високим вмістом біодизелю може виникнути необхідність в певних змінах конструкції двигуна або режимів його роботи для забезпечення оптимальної продуктивності та довговічності.

Біодизельне паливо характеризується високою температурою кипіння та низькою леткістю порівняно з традиційним дизельним паливом. Це впливає на процес випаровування палива в камері згоряння та може призводити до змін у характеристиках розпилення та згоряння. Для оптимізації роботи двигуна на біодизелі може знадобитися коригування параметрів впорскування палива, таких як тиск та момент початку впорскування.

Одним з важливих аспектів використання біодизельного палива є його вплив на емісію шкідливих речовин. Загалом, використання біодизелю призводить до зниження викидів вуглеводнів, монооксиду вуглецю та твердих

частинок. Однак, може спостерігатися незначне збільшення викидів оксидів азоту. Ці особливості необхідно враховувати при розробці систем очистки вихлопних газів та налаштуванні параметрів роботи двигуна для забезпечення відповідності екологічним нормам.

1.2 Вплив біодизельного палива на екологічні показники дизельних двигунів

Використання біодизельного палива в дизельних двигунах має значний вплив на їх екологічні показники. Одним з ключових переваг біодизелю є зниження викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу. Це пов'язано з тим, що рослини, з яких виробляється біодизель, поглинають CO_2 під час свого росту, створюючи замкнутий цикл вуглецю. При згорянні біодизелю виділяється приблизно така ж кількість CO_2 , яка була поглинута рослинами, що робить його майже нейтральним з точки зору впливу на парниковий ефект.

Біодизельне паливо характеризується значно нижчим вмістом сірки порівняно з традиційним дизельним паливом. Це призводить до суттєвого зменшення викидів оксидів сірки (SO_x), які є одними з основних забруднювачів атмосфери та причиною кислотних дощів. Зниження вмісту сірки в паливі також позитивно впливає на роботу каталітичних нейтралізаторів, підвищуючи їх ефективність та довговічність.

Одним з найважливіших екологічних переваг біодизельного палива є зниження викидів твердих частинок (сажі). Дослідження показують, що використання чистого біодизелю може призвести до зменшення викидів твердих частинок на 40-65% порівняно з традиційним дизельним паливом. Це має велике значення для покращення якості повітря, особливо в міських умовах, де концентрація твердих частинок є серйозною проблемою для здоров'я населення.

Використання біодизельного палива призводить до зниження викидів монооксиду вуглецю (CO). Це пов'язано з більш повним згорянням палива завдяки наявності кисню в молекулах біодизелю. Зменшення викидів CO має важливе значення для покращення якості повітря, особливо в закритих

просторах та густонаселених районах, де накопичення цього газу може становити серйозну загрозу для здоров'я людей.

Біодизельне паливо також сприяє зниженню викидів незгорілих вуглеводнів (НС). Це пояснюється більш ефективним процесом згоряння та наявністю кисню в складі палива. Зменшення викидів НС є важливим фактором у боротьбі з утворенням фотохімічного смогу та покращенні загальної якості повітря в міських та промислових районах.

Таблиця 1.2

Вплив біодизельного палива на викиди шкідливих речовин у порівнянні з традиційним дизельним паливом

Показник	Зміна викидів при використанні біодизелю
Вуглекислий газ (CO ₂)	-78%
Тверді частинки (PM)	-47%
Монооксид вуглецю (CO)	-48%
Незгорілі вуглеводні (НС)	-67%
Оксиди азоту (NO _x)	+10%
Оксиди сірки (SO _x)	-100%

Одним з важливих аспектів впливу біодизельного палива на екологічні показники дизельних двигунів є зміна викидів оксидів азоту (NO_x). Дослідження показують, що використання біодизелю може призвести до незначного збільшення викидів NO_x, зазвичай на 5-10% порівняно з традиційним дизельним паливом. Це пов'язано з вищою температурою згоряння біодизелю та наявністю кисню в його молекулах.

Збільшення викидів NO_x при використанні біодизельного палива є одним з основних викликів для розробників двигунів та систем очистки вихлопних газів. Для вирішення цієї проблеми застосовуються різні підходи, включаючи оптимізацію процесу згоряння, використання систем рециркуляції вихлопних газів (EGR) та вдосконалення каталітичних нейтралізаторів. Ці заходи дозволяють значно знизити викиди NO_x і забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам.

Важливим аспектом екологічного впливу біодизельного палива є його здатність до біологічного розкладання. У випадку розливів або витоків біодизель розкладається значно швидше, ніж традиційне дизельне паливо, що зменшує ризик забруднення ґрунту та водних ресурсів. Ця властивість робить біодизель особливо привабливим для використання в екологічно чутливих зонах, таких як водойми, заповідники та сільськогосподарські угіддя.

Використання біодизельного палива також впливає на характер димності вихлопних газів. Завдяки більш повному згорянню та зниженню вмісту сірки, дим від двигунів, що працюють на біодизелі, є менш щільним та менш токсичним. Це має важливе значення не тільки для покращення видимості на дорогах, але й для зменшення негативного впливу на здоров'я людей, особливо в міських умовах з інтенсивним автомобільним рухом.

Одним з важливих екологічних аспектів використання біодизельного палива є зниження залежності від невідновлюваних джерел енергії. Виробництво біодизелю з рослинних олій та відходів тваринного походження дозволяє зменшити споживання нафтопродуктів, що сприяє збереженню природних ресурсів та зниженню негативного впливу нафтовидобутку на навколишнє середовище.

Біодизельне паливо має потенціал для зниження загального вуглецевого сліду транспортного сектору. Хоча при згорянні біодизелю також виділяється CO₂, цей вуглекислий газ є частиною природного вуглецевого циклу, на відміну від викидів від спалювання викопного палива. Це дозволяє розглядати біодизель як важливий інструмент у боротьбі зі зміною клімату та досягненні цілей зі зниження викидів парникових газів.

Використання біодизельного палива може сприяти покращенню якості повітря в міських умовах. Зниження викидів твердих частинок, монооксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів призводить до зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі, що особливо важливо для густонаселених районів. Це може мати позитивний вплив на здоров'я населення, зменшуючи ризик

респіраторних захворювань та інших проблем, пов'язаних із забрудненням повітря.

Важливим аспектом екологічного впливу біодизельного палива є його потенціал для утилізації відходів. Виробництво біодизелю з використаних кулінарних олій та жирів тваринного походження дозволяє ефективно переробляти ці відходи, перетворюючи їх на цінне паливо. Це не тільки зменшує кількість відходів, що потрапляють на звалища або в системи водовідведення, але й створює додаткове джерело відновлюваної енергії.

Використання біодизельного палива може сприяти розвитку сільського господарства та створенню нових робочих місць у сільській місцевості. Вирощування культур для виробництва біодизелю може стати додатковим джерелом доходу для фермерів, а також стимулювати розвиток переробної промисловості в аграрних регіонах. Це може мати позитивний вплив на соціально-економічний розвиток сільських територій та сприяти більш збалансованому регіональному розвитку.

Біодизельне паливо має потенціал для зниження залежності країн від імпорту нафтопродуктів. Розвиток виробництва біодизелю на основі місцевої сировини може сприяти енергетичній безпеці та стабільності, зменшуючи вплив коливань цін на світовому ринку нафти. Це особливо важливо для країн, які не мають власних значних запасів нафти і залежать від її імпорту.

Використання біодизельного палива може мати позитивний вплив на довговічність двигунів та паливних систем. Завдяки кращим змащувальним властивостям біодизелю, зменшується знос деталей паливної апаратури, що може призвести до збільшення терміну служби двигуна. Це, в свою чергу, сприяє зменшенню кількості відходів від автомобільної промисловості та зниженню потреби у виробництві запасних частин.

Важливим аспектом екологічного впливу біодизельного палива є його роль у циркулярній економіці. Виробництво біодизелю з відходів та побічних продуктів сільського господарства та харчової промисловості дозволяє створити замкнутий цикл використання ресурсів. Це сприяє більш ефективному

використанню біомаси та зменшенню загального екологічного сліду виробництва та споживання енергії.

Використання біодизельного палива може сприяти підвищенню екологічної свідомості населення. Впровадження біодизелю як альтернативного палива привертає увагу до проблем зміни клімату та необхідності переходу до більш сталих джерел енергії. Це може стимулювати громадськість до більш відповідального споживання та підтримки екологічних ініціатив.

1.3 Огляд сучасних технологій виробництва біодизельного палива

Сучасне виробництво біодизельного палива базується на різноманітних технологіях, кожна з яких має свої особливості та переваги. Основним методом отримання біодизелю залишається процес трансестерифікації, при якому тригліцериди рослинних олій або тваринних жирів реагують з метанолом або етанолом у присутності каталізатора. Цей процес дозволяє отримати метилові або етилові естери жирних кислот, які і є основним компонентом біодизельного палива.

Технологія виробництва біодизелю методом трансестерифікації включає кілька основних етапів: підготовку сировини, реакцію трансестерифікації, розділення продуктів реакції, очистку біодизелю та рекуперацію надлишкового спирту. Кожен з цих етапів має важливе значення для отримання якісного кінцевого продукту. Особлива увага приділяється контролю якості сировини та умовам проведення реакції, які значною мірою впливають на вихід та чистоту біодизелю.

Важливим аспектом сучасних технологій виробництва біодизельного палива є вибір каталізатора. Найбільш поширеними є лужні каталізатори, такі як гідроксид натрію або калію, які забезпечують високу швидкість реакції та високий вихід продукту. Однак, в останні роки зростає інтерес до використання кислотних каталізаторів, особливо при переробці сировини з високим вмістом вільних жирних кислот.

Одним з перспективних напрямків розвитку технологій виробництва біодизелю є використання ферментативних каталізаторів. Ферменти, такі як ліпази, дозволяють проводити реакцію трансестерифікації в більш м'яких умовах, що знижує енергетичні витрати та зменшує утворення побічних продуктів. Крім того, ферментативний каталіз є більш екологічно чистим процесом, оскільки не вимагає використання агресивних хімічних речовин.

Таблиця 1.3

Порівняння різних технологій виробництва біодизельного палива

Технологія	Переваги	Недоліки	Вихід продукту
Лужний каталіз	Висока швидкість реакції, низька вартість	Чутливість до якості сировини	95-98%
Кислотний каталіз	Можливість переробки сировини з високим вмістом ВЖК	Довший час реакції, корозійність	90-95%
Ферментативний каталіз	Екологічність, м'які умови реакції	Висока вартість ферментів	85-90%
Надкритичний метод	Відсутність потреби в каталізаторі	Високі температура і тиск	98-99%

Сучасні технології виробництва біодизельного палива приділяють значну увагу оптимізації процесу очистки кінцевого продукту. Традиційні методи включають водну промивку для видалення залишків каталізатора, гліцерину та інших домішок. Однак, цей метод має ряд недоліків, включаючи високе споживання води та утворення стічних вод. У зв'язку з цим, розробляються нові методи сухої очистки біодизелю, які дозволяють знизити екологічне навантаження виробництва.

Важливим напрямком розвитку технологій виробництва біодизельного палива є вдосконалення процесів переробки побічних продуктів, зокрема гліцерину. Розробляються методи очистки та концентрації гліцерину для його подальшого використання в хімічній промисловості. Крім того, досліджуються можливості конверсії гліцерину в інші цінні продукти, такі як пропіленгліколь

або водень, що дозволяє підвищити економічну ефективність виробництва біодизелю.

Одним з перспективних напрямків є розробка технологій виробництва біодизелю з мікроводоростей. Мікроводорості мають ряд переваг як сировина для біодизелю, включаючи високу продуктивність біомаси та можливість культивування на непридатних для сільського господарства землях. Однак, ця технологія все ще знаходиться на стадії розробки і вимагає вирішення ряду технічних та економічних проблем для її широкомасштабного впровадження.

Важливим аспектом сучасних технологій виробництва біодизельного палива є розробка систем автоматизації та контролю якості. Впровадження автоматизованих систем управління дозволяє оптимізувати процес виробництва, забезпечуючи стабільну якість продукції та знижуючи енергетичні витрати. Крім того, розробляються нові методи швидкого аналізу якості біодизелю, які дозволяють проводити контроль продукції в режимі реального часу.

Сучасні технології виробництва біодизельного палива також фокусуються на підвищенні енергоефективності процесу. Розробляються нові конструкції реакторів, які забезпечують більш ефективне змішування реагентів та теплопередачу. Крім того, впроваджуються системи рекуперації тепла та інтеграції енергетичних потоків, що дозволяє знизити загальне енергоспоживання виробництва.

Важливим напрямком розвитку технологій виробництва біодизелю є розробка методів переробки низькоякісної сировини. Це включає технології попередньої обробки сировини з високим вмістом вільних жирних кислот, а також методи дегуміфікації та видалення інших домішок. Ці технології дозволяють розширити сировинну базу для виробництва біодизелю, включаючи використання відпрацьованих олій та жирів.

Одним з ключових аспектів сучасних технологій виробництва біодизельного палива є оптимізація стехіометричного співвідношення реагентів. Теоретично, для реакції трансестерифікації потрібно 3 молі спирту на 1 моль тригліцериду. Однак, для забезпечення повноти реакції зазвичай

використовується надлишок спирту. Розрахунок оптимального молярного співвідношення може бути виконаний за формулою:

$$R = \frac{n_{\text{спирту}}}{n_{\text{тригліцериду}}}$$

де R - молярне співвідношення; $n_{\text{спирту}}$ - кількість молів спирту; $n_{\text{тригліцериду}}$ - кількість молів тригліцериду.

Для типового процесу виробництва біодизелю, R зазвичай знаходиться в діапазоні 6:1 до 12:1. Наприклад, при використанні 1000 кг олії (молярна маса приблизно 870 г/моль) та метанолу (молярна маса 32 г/моль) з співвідношенням 6:1, розрахунок кількості метанолу буде наступним:

$$n_{\text{олії}} = \frac{1000 \text{ кг}}{870 \text{ кг/моль}} = 1,15 \text{ кмоль}$$

$$n_{\text{метанолу}} = 6 \times 1,15 \text{ кмоль} = 6,9 \text{ кмоль}$$

$$n_{\text{метанолу}} = 6,9 \text{ кмоль} \times 32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} = 220,8 \text{ кг}$$

Таким чином, для переробки 1000 кг олії потрібно приблизно 221 кг метанол.

Важливим аспектом сучасних технологій є контроль кінетики реакції трансестерифікації. Швидкість реакції може бути описана рівнянням першого порядку:

$$k[TG] = \frac{-d[TG]}{dt}$$

де $[TG]$ - концентрація тригліцеридів; t - час; k - константа швидкості реакції.

Інтегрування цього рівняння дає:

$$-kt = \ln\left(\frac{[TG]}{[TG]_0}\right)$$

де $[TG]_0$ - початкова концентрація тригліцеридів.

Знання кінетики реакції дозволяє оптимізувати час проведення процесу та підвищити ефективність виробництва.

Сучасні технології виробництва біодизельного палива також фокусуються на оптимізації енергетичного балансу процесу. Енергетична ефективність виробництва може бути оцінена за допомогою коефіцієнта енергетичної ефективності (NEV – *Net Energy Value*):

$$NEV = E_{\text{вихід}} - E_{\text{вхід}}$$

де $E_{\text{вихід}}$ - енергетичний вміст виробленого біодизелю; $E_{\text{вхід}}$ - енергія, витрачена на виробництво.

Для ефективного виробництва NEV повинен бути позитивним. Наприклад, якщо при виробництві 1 кг біодизелю (енергетичний вміст приблизно 37 МДж/кг) витрачається 25 МДж енергії, то:

$$NEV = 37 \text{ МДж} - 25 \text{ МДж} = 12 \text{ МДж/кг}$$

Це означає, що виробництво є енергетично вигідним.

Важливим аспектом сучасних технологій є оптимізація процесу сепарації продуктів реакції. Ефективність розділення біодизелю та гліцерину може бути оцінена за допомогою коефіцієнта розподілу:

$$K = \frac{C_{\text{біодизель}}}{C_{\text{гліцерин}}}$$

де $C_{\text{біодизель}}$ - концентрація компонента в біодизельній фазі; $C_{\text{гліцерин}}$ - концентрація компонента в гліцериновій фазі.

Знання коефіцієнтів розподілу дозволяє оптимізувати процес сепарації та підвищити чистоту кінцевого продукту.

Сучасні технології виробництва біодизельного палива також приділяють увагу оптимізації процесу очистки. Ефективність видалення домішок може бути оцінена за допомогою ступеня очистки:

$$\eta = \frac{C_{\text{вхід}} - C_{\text{вихід}}}{C_{\text{вхід}}} \times 100\%$$

де $C_{\text{вхід}}$ - концентрація домішок до очистки; $C_{\text{вихід}}$ - концентрація домішок після очистки.

Наприклад, якщо концентрація залишків каталізатора до очистки становила 1000 ppm, а після очистки - 50 ppm, то ступінь очистки складе:

$$\eta = \frac{1000 - 50}{1000} \times 100\% = 95\%$$

Це означає, що процес очистки видалив 95% домішок.

Важливим аспектом сучасних технологій є оптимізація процесу рекуперації надлишкового спирту. Ефективність рекуперації може бути оцінена за допомогою коефіцієнта рекуперації:

$$R = \frac{m_{\text{рекуперований}}}{m_{\text{надлишковий}}} \times 100\%$$

де $m_{\text{рекуперований}}$ - маса рекуперованого спирту; $m_{\text{надлишковий}}$ - маса надлишкового спирту.

Наприклад, якщо було використано 220 кг метанолу, з яких 100 кг - надлишок, а рекуперовано 90 кг, то коефіцієнт рекуперації складе:

$$R = \frac{90}{100} \times 100\% = 90\%$$

Це означає, що 90% надлишкового метанолу було успішно рекуперовано та може бути повторно використано у виробництві.

Сучасні технології виробництва біодизельного палива також фокусуються на оптимізації реологічних властивостей продукту. Важливим параметром є кінематична в'язкість, яка може бути розрахована за формулою:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

де ν - кінематична в'язкість; μ - динамічна в'язкість; ρ - густина.

Для біодизелю кінематична в'язкість при 40°C повинна знаходитись в межах 3,5 – 5,0 мм²/с згідно зі стандартами.

Важливим аспектом сучасних технологій є оптимізація процесу зберігання біодизельного палива. Стабільність біодизелю при зберіганні може бути оцінена за допомогою періоду індукції, який розраховується за формулою:

$$IP = t_{\text{окислення}} - t_{\text{початок}}$$

де IP - період індукції; $t_{\text{окислення}}$ - час початку різкого збільшення пероксидного числа; $t_{\text{початок}}$ - початковий час вимірювання.

Згідно зі стандартами, період індукції біодизелю повинен бути не менше 6 годин при температурі 110°C.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

2.1 Експериментальні дослідження впливу біодизельного палива на параметри роботи дизельного двигуна

Експериментальні дослідження впливу біодизельного палива на параметри роботи дизельного двигуна є ключовим етапом у вивченні потенціалу та обмежень використання цього альтернативного палива. Для проведення таких досліджень зазвичай використовують стендові випробування, які дозволяють точно контролювати умови експерименту та вимірювати широкий спектр параметрів роботи двигуна.

Одним з основних параметрів, що досліджуються при використанні біодизельного палива, є потужність двигуна. Експериментальні дослідження показують, що при переході на біодизель може спостерігатися незначне зниження потужності, зазвичай в межах 5-10%. Це пов'язано з нижчою теплотворною здатністю біодизелю порівняно з традиційним дизельним паливом. Зміна потужності двигуна може бути розрахована за формулою:

$$\Delta P = \frac{P_{\text{біо}} - P_{\text{диз}}}{P_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔP - відносна зміна потужності; $P_{\text{біо}}$ - потужність двигуна на біодизелі; $P_{\text{диз}}$ - потужність двигуна на дизельному паливі.

Наприклад, якщо потужність двигуна на дизельному паливі складала 100 кВт, а на біодизелі - 95 кВт, то:

$$\Delta P = \frac{95 - 100}{100} \times 100\% = -5\%$$

Це означає, що при переході на біодизель потужність двигуна знизилась на 5%.

Важливим параметром, який досліджується експериментально, є питома витрата палива. При використанні біодизелю зазвичай спостерігається збільшення питомої витрати палива, що пов'язано з його нижчою енергетичною щільністю. Зміна питомої витрати палива може бути розрахована за формулою:

$$\Delta ge = \frac{ge_{\text{біо}} - ge_{\text{диз}}}{ge_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де Δge - відносна зміна питомої витрати палива; $ge_{\text{біо}}$ - питома витрата біодизелю; $ge_{\text{диз}}$ - питома витрата дизельного палива.

Наприклад, якщо питома витрата дизельного палива складала 200 г/кВт · год, а біодизелю – 220 г/кВт · год, то:

$$\Delta ge = \frac{220 - 200}{200} \times 100\% = 10\%$$

Це означає, що при переході на біодизель питома витрата палива збільшилась на 10%.

Таблиця 2.1

Експериментальні дані впливу біодизельного палива на параметри роботи дизельного двигуна

Параметр	Дизельне паливо	Біодизель В20	Біодизель В100
Потужність, кВт	100	98	95
Крутний момент, Н·м	450	445	435
Питома витрата палива, г/кВт·год	200	210	220
Ефективний ККД, %	38	37.5	37
Температура вихлопних газів, °С	450	460	470

Експериментальні дослідження також фокусуються на вивченні впливу біодизельного палива на процес згоряння в циліндрах двигуна. Важливим параметром є максимальний тиск згоряння, який може змінюватися при переході на біодизель. Зміна максимального тиску згоряння може бути розрахована за формулою:

$$\Delta P_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}_{\text{біо}}} - P_{\text{max}_{\text{диз}}}}{P_{\text{max}_{\text{диз}}}} \times 100\%$$

де ΔP_{max} - відносна зміна максимального тиску згоряння; $P_{\text{max}_{\text{біо}}}$ - максимальний тиск згоряння при роботі на біодизелі; $P_{\text{max}_{\text{диз}}}$ - максимальний тиск згоряння при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо максимальний тиск згоряння на дизельному паливі складав 80 бар, а на біодизелі - 82 бар, то:

$$\Delta P_{max} = \frac{82 - 80}{80} \times 100\% = 2,5\%$$

Це означає, що при переході на біодизель максимальний тиск згоряння збільшився на 2.5%.

Важливим аспектом експериментальних досліджень є вивчення впливу біодизельного палива на емісію шкідливих речовин. Зміна рівня викидів може бути розрахована за формулою:

$$\Delta E = \frac{E_{bio} - E_{диз}}{E_{диз}} \times 100\%$$

де ΔE - відносна зміна рівня викидів; E_{bio} - рівень викидів при роботі на біодизелі; $E_{диз}$ - рівень викидів при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо рівень викидів твердих частинок на дизельному паливі складав 0.1 г/кВт · год, а на біодизелі — 0.07 г/кВт · год, то:

$$\Delta E = \frac{0,07 - 0,1}{0,1} \times 100\% = -30\%$$

Це означає, що при переході на біодизель рівень викидів твердих частинок знизився на 30%.

Експериментальні дослідження також включають вивчення впливу біодизельного палива на температурний режим двигуна. Важливим параметром є температура вихлопних газів, зміна якої може бути розрахована за формулою:

$$\Delta T = \frac{T_{bio}}{T_{диз}}$$

де ΔT - абсолютна зміна температури вихлопних газів; T_{bio} - температура вихлопних газів при роботі на біодизелі; $T_{диз}$ - температура вихлопних газів при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо температура вихлопних газів на дизельному паливі складала 450°C, а на біодизелі — 470°C, то:

$$\Delta T = 470^{\circ}C - 450^{\circ}C = 20^{\circ}C$$

Це означає, що при переході на біодизель температура вихлопних газів збільшилась на 20°C.

Важливим аспектом експериментальних досліджень є вивчення впливу біодизельного палива на процес впорскування. Зміна тривалості впорскування може бути розрахована за формулою:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{біо}} - t_{\text{диз}}}{t_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де Δt - відносна зміна тривалості впорскування; $t_{\text{біо}}$ - тривалість впорскування біодизелю; $t_{\text{диз}}$ - тривалість впорскування дизельного палива.

Наприклад, якщо тривалість впорскування дизельного палива складала 1.5 мс, а біодизелю – 1.6 мс, то:

$$\Delta t = \frac{1,6 - 1,5}{1,5} \times 100\% = 6,67\%$$

Це означає, що при переході на біодизель тривалість впорскування збільшилась на 6.67%.

Експериментальні дослідження також фокусуються на вивченні впливу біодизельного палива на ефективний ККД двигуна. Зміна ефективного ККД може бути розрахована за формулою:

$$\Delta \eta = \frac{\eta_{\text{біо}} - \eta_{\text{диз}}}{\eta_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де $\Delta \eta$ - відносна зміна ефективного ККД; $\eta_{\text{біо}}$ - ефективний ККД при роботі на біодизелі; $\eta_{\text{диз}}$ - ефективний ККД при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо ефективний ККД при роботі на дизельному паливі складав 38%, а на біодизелі – 37%, то:

$$\Delta \eta = \frac{37 - 38}{38} \times 100\% = -2,63\%$$

Це означає, що при переході на біодизель ефективний ККД двигуна знизився на 2.63%.

Важливим аспектом експериментальних досліджень є вивчення впливу біодизельного палива на характеристики розпилювання. Середній діаметр краплин палива може бути розрахований за формулою Заутера:

$$D_{32} = \frac{\sum n_i \times d_i^3}{\sum n_i \times d_i^2}$$

де D_{32} - середній діаметр краплин за Заутером; n_i - кількість краплин діаметром d_i ; d_i - діаметр краплин.

Експериментальні дослідження показують, що при використанні біодизелю середній діаметр краплин зазвичай збільшується на 5-10% порівняно з дизельним паливом [24, с. 214].

Експериментальні дослідження також включають вивчення впливу біодизельного палива на процес сумішоутворення. Коефіцієнт надлишку повітря може бути розрахований за формулою:

$$\alpha = \frac{L}{L_0}$$

де α - коефіцієнт надлишку повітря; L - фактична кількість повітря, що подається в циліндр; L_0 - теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння палива.

При використанні біодизелю зазвичай спостерігається незначне зменшення коефіцієнта надлишку повітря через більший вміст кисню в паливі.

Важливим аспектом експериментальних досліджень є вивчення впливу біодизельного палива на процес згоряння. Тривалість згоряння може бути розрахована за формулою:

$$\varphi Z = \varphi Z_1 + \varphi Z_2$$

де φZ - загальна тривалість згоряння; φZ_1 - тривалість періоду затримки займання; φZ_2 - тривалість періоду видимого згоряння.

Експериментальні дослідження показують, що при використанні біодизелю зазвичай спостерігається незначне збільшення тривалості згоряння, особливо в період видимого згоряння.

Експериментальні дослідження також фокусуються на вивченні впливу біодизельного палива на теплонапруженість деталей двигуна. Температура поршня може бути розрахована за формулою:

$$T_p = \frac{T_{\Gamma} - q}{\alpha}$$

де T_p - температура поршня; T_g - температура газів в циліндрі; q - питомий тепловий потік; α - коефіцієнт тепловіддачі.

При використанні біодизелю зазвичай спостерігається незначне збільшення теплонапруженості деталей через вищу температуру згоряння.

Важливим аспектом експериментальних досліджень є вивчення впливу біодизельного палива на процес утворення відкладень в двигуні. Швидкість утворення відкладень може бути оцінена за формулою:

$$dM(dt) = k \times C \times S$$

де $dM(dt)$ - швидкість утворення відкладень; k - константа швидкості реакції; C - концентрація прекурсорів відкладень; S - площа поверхні.

Експериментальні дослідження показують, що при використанні біодизелю зазвичай спостерігається зменшення швидкості утворення відкладень завдяки кращим миючим властивостям палива.

2.2 Розрахунок зміни екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива

Розрахунок зміни екологічних показників дизельного двигуна при використанні біодизельного палива є важливим етапом оцінки ефективності та доцільності переходу на альтернативне паливо. Одним з ключових параметрів, що підлягають аналізу, є зміна рівня викидів вуглекислого газу (CO_2). Розрахунок зміни викидів CO_2 може бути проведений за формулою:

$$\Delta CO_2 = \frac{CO_{2\text{біо}} - CO_{2\text{диз}}}{CO_{2\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔCO_2 - відносна зміна викидів CO_2 ; $CO_{2\text{біо}}$ - викиди CO_2 при роботі на біодизелі; $CO_{2\text{диз}}$ - викиди CO_2 при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо викиди CO_2 при роботі на дизельному паливі складали 650 г/кВт · год, а на біодизелі — 600 г/кВт · год, то:

$$\Delta CO_2 = \frac{600 - 650}{650} \times 100\% = -7,69$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди CO_2 зменшились на 7,69%.

Важливим аспектом розрахунку екологічних показників є оцінка зміни викидів твердих частинок (PM). Розрахунок зміни викидів PM може бути проведений за формулою:

$$\Delta PM = \frac{PM_{\text{біо}} - PM_{\text{диз}}}{PM_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔPM - відносна зміна викидів твердих частинок; $PM_{\text{біо}}$ - викиди PM при роботі на біодизелі; $PM_{\text{диз}}$ - викиди PM при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо викиди PM при роботі на дизельному паливі складали 0,08 г/кВт · год, а на біодизелі – 0,05 г/кВт · год, то:

$$\Delta PM = \frac{0,05 - 0,08}{0,08} \times 100\% = -37,5\%$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди твердих частинок зменшились на 37.5%.

Розрахунок зміни викидів оксидів азоту (NO_x) є важливим етапом оцінки екологічних показників. Зміна викидів NO_x може бути розрахована за формулою:

$$\Delta \text{NO}_x = \frac{\text{NO}_{x\text{біо}} - \text{NO}_{x\text{диз}}}{\text{NO}_{x\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔNO_x - відносна зміна викидів NO_x ; $\text{NO}_{x\text{біо}}$ - викиди NO_x при роботі на біодизелі; $\text{NO}_{x\text{диз}}$ - викиди NO_x при роботі на дизельному паливі [2, с. 97].

Наприклад, якщо викиди NO_x при роботі на дизельному паливі складали 5 г/кВт · год, а на біодизелі – 5.5 г/кВт · год, то:

$$\Delta \text{NO}_x = \frac{5,5 - 5}{5} \times 100\% = 10\%$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди NO_x збільшились на 10%.

Важливим аспектом розрахунку екологічних показників є оцінка зміни викидів монооксиду вуглецю (CO). Розрахунок зміни викидів CO може бути проведений за формулою:

$$\Delta \text{CO} = \frac{\Delta \text{CO}_{\text{біо}} - \Delta \text{CO}_{\text{диз}}}{\Delta \text{CO}_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔCO - відносна зміна викидів CO; $CO_{\text{біо}}$ - викиди CO при роботі на біодизелі; $CO_{\text{диз}}$ - викиди CO при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо викиди CO при роботі на дизельному паливі складали 2 г/кВт · год, а на біодизелі – 1,5 г/кВт · год, то:

$$\Delta CO = \frac{1,5 - 2}{2} \times 100\% = -25\%$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди CO зменшились на 25%.

Розрахунок зміни викидів незгорілих вуглеводнів (НС) є важливим етапом оцінки екологічних показників. Зміна викидів НС може бути розрахована за формулою:

$$\Delta HC = \frac{HC_{\text{біо}} - HC_{\text{диз}}}{HC_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔHC - відносна зміна викидів НС; $HC_{\text{біо}}$ - викиди НС при роботі на біодизелі; $HC_{\text{диз}}$ - викиди НС при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо викиди НС при роботі на дизельному паливі складали 0,5 г/кВт · год, а на біодизелі – 0,3 г/кВт · год, то:

$$\Delta HC = \frac{0,3 - 0,5}{0,5} \times 100\% = -40\%$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди НС зменшились на 40%.

Важливим аспектом розрахунку екологічних показників є оцінка зміни димності вихлопних газів. Зміна димності може бути розрахована за формулою:

$$\Delta D = \frac{D_{\text{біо}} - D_{\text{диз}}}{D_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔD - відносна зміна димності; $D_{\text{біо}}$ - димність при роботі на біодизелі; $D_{\text{диз}}$ - димність при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо димність при роботі на дизельному паливі складала 30%, а на біодизелі - 20%, то:

$$\Delta D = \frac{20 - 30}{30} \times 100\% = -33,33\%$$

Це означає, що при переході на біодизель димність вихлопних газів зменшилась на 33.33%.

Розрахунок зміни викидів оксидів сірки (SOx) є важливим етапом оцінки екологічних показників, особливо враховуючи низький вміст сірки в біодизелі. Зміна викидів SOx може бути розрахована за формулою:

$$\Delta SOx = \frac{SOx_{\text{біо}} - SOx_{\text{диз}}}{SOx_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔSOx - відносна зміна викидів SOx; $SOx_{\text{біо}}$ - викиди SOx при роботі на біодизелі; $SOx_{\text{диз}}$ - викиди SOx при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо викиди SOx при роботі на дизельному паливі складали 0,2 г/кВт · год, а на біодизелі – 0,01 г/кВт · год, то:

$$\Delta SOx = \frac{0,01 - 0,2}{0,2} \times 100\% = -95\%$$

Це означає, що при переході на біодизель викиди SOx зменшились на 95%.

Важливим аспектом розрахунку екологічних показників є оцінка зміни загального рівня токсичності вихлопних газів. Зміна рівня токсичності може бути розрахована за формулою:

$$\Delta T = \frac{T_{\text{біо}} - T_{\text{диз}}}{T_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔT - відносна зміна рівня токсичності; $T_{\text{біо}}$ - рівень токсичності при роботі на біодизелі; $T_{\text{диз}}$ - рівень токсичності при роботі на дизельному паливі.

Наприклад, якщо рівень токсичності при роботі на дизельному паливі складав 100 умовних одиниць, а на біодизелі - 80 умовних одиниць, то:

$$\Delta T = \frac{80 - 100}{100} \times 100\% = -20\%$$

Це означає, що при переході на біодизель загальний рівень токсичності вихлопних газів зменшився на 20%.

2.3 Аналіз економічної ефективності застосування біодизельного палива

Аналіз економічної ефективності застосування біодизельного палива є ключовим аспектом оцінки доцільності його впровадження. Одним з основних параметрів, що підлягають аналізу, є різниця у вартості біодизельного та

традиційного дизельного палива. Розрахунок відносної різниці у вартості може бути проведений за формулою:

$$\Delta C = \frac{C_{\text{біо}} - C_{\text{диз}}}{C_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔC - відносна різниця у вартості; $C_{\text{біо}}$ - вартість біодизельного палива; $C_{\text{диз}}$ - вартість дизельного палива.

Наприклад, якщо вартість дизельного палива складає 30 грн/л, а біодизельного – 28 грн/л, то:

$$\Delta C = \frac{28 - 30}{30} \times 100\% = -6,67\%$$

Це означає, що біодизельне паливо на 6,67% дешевше за традиційне дизельне паливо.

Таблиця 2.3

Порівняльний аналіз економічних показників використання
біодизельного та дизельного палива

Показник	Дизельне паливо	Біодизель В20	Біодизель В100
Вартість палива, грн/л	30	29.5	28
Питома витрата палива, л/100 км	7.5	7.8	8.2
Вартість експлуатації, грн/100 км	225	230.1	229.6
Вартість технічного обслуговування, грн/рік	10000	10500	11000
Термін служби двигуна, тис. км	300	310	320

Важливим аспектом економічного аналізу є розрахунок зміни експлуатаційних витрат при переході на біодизельне паливо. Зміна експлуатаційних витрат може бути розрахована за формулою:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{біо}} - E_{\text{диз}}}{E_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔE - відносна зміна експлуатаційних витрат; $E_{\text{біо}}$ - експлуатаційні витрати при використанні біодизелю; $E_{\text{диз}}$ - експлуатаційні витрати при використанні дизельного палива.

Наприклад, якщо експлуатаційні витрати при використанні дизельного палива складають 225 грн/100 км, а при використанні біодизелю B100 – 229,6 грн/100 км, то:

$$\Delta E = \frac{229,6 - 225}{225} \times 100\% = 2,04\%$$

Це означає, що експлуатаційні витрати при переході на біодизель B100 збільшились на 2,04%.

Розрахунок зміни вартості технічного обслуговування є важливим етапом економічного аналізу. Зміна вартості технічного обслуговування може бути розрахована за формулою:

$$\Delta M = \frac{M_{\text{біо}} - M_{\text{диз}}}{M_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔM - відносна зміна вартості технічного обслуговування; $M_{\text{біо}}$ - вартість технічного обслуговування при використанні біодизелю; $M_{\text{диз}}$ - вартість технічного обслуговування при використанні дизельного палива.

Наприклад, якщо вартість технічного обслуговування при використанні дизельного палива складає 10000 грн/рік, а при використанні біодизелю B100 - 11000 грн/рік, то:

$$\Delta M = \frac{11000 - 10000}{10000} \times 100\% = 10\%$$

Це означає, що вартість технічного обслуговування при переході на біодизель B100 збільшилась на 10%.

Важливим аспектом економічного аналізу є розрахунок зміни терміну служби двигуна при використанні біодизельного палива. Зміна терміну служби може бути розрахована за формулою:

$$\Delta L = \frac{L_{\text{біо}} - L_{\text{диз}}}{L_{\text{диз}}} \times 100\%$$

де ΔL - відносна зміна терміну служби; $L_{\text{біо}}$ - термін служби двигуна при використанні біодизелю; $L_{\text{диз}}$ - термін служби двигуна при використанні дизельного палива [7, с. 168].

Наприклад, якщо термін служби двигуна при використанні дизельного палива складає 300 тис. км, а при використанні біодизелю B100 - 320 тис. км, то:

$$\Delta L = \frac{320 - 300}{300} \times 100\% = 6,67\%$$

Це означає, що термін служби двигуна при переході на біодизель B100 збільшився на 6,67%.

Розрахунок загальної економічної ефективності використання біодизельного палива може бути проведений з урахуванням всіх вищезазначених факторів. Загальна економічна ефективність може бути розрахована за формулою:

$$E = \frac{\Delta C \times W_1 + \Delta E \times W_2 + \Delta M \times W_3 + \Delta L \times W_4}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

де E - загальна економічна ефективність; ΔC , ΔE , ΔM , ΔL - відносні зміни вартості палива, експлуатаційних витрат, вартості технічного обслуговування та терміну служби відповідно; W_1 , W_2 , W_3 , W_4 - вагові коефіцієнти важливості кожного фактора.

Наприклад, якщо прийняти $W_1 = 0,4$, $W_2 = 0,3$, $W_3 = 0,2$, $W_4 = 0,1$, то загальна економічна ефективність використання біодизелю B100 складе:

$$E = \frac{(-6,67 \times 0,4 + 2,04 \times 0,3 + 10 \times 0,2 + 6,67 \times 0,1)}{0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1} = 0,81\%$$

Це означає, що загальна економічна ефективність використання біодизелю B100 складає 0.81%.

Важливим аспектом економічного аналізу є розрахунок терміну окупності переходу на біодизельне паливо. Термін окупності може бути розрахований за формулою:

$$T = \frac{I}{S_{\text{диз}} - S_{\text{біо}}}$$

де T - термін окупності; I - інвестиції, необхідні для переходу на біодизельне паливо; $S_{\text{диз}}$ - річні витрати при використанні дизельного палива; $S_{\text{біо}}$ - річні витрати при використанні біодизельного палива.

Наприклад, якщо інвестиції для переходу на біодизельне паливо складають 50000 грн, річні витрати при використанні дизельного палива - 200000 грн, а при використанні біодизелю - 195000 грн, то термін окупності складе:

$$N = \frac{50000}{200000 - 195000} = 10 \text{ років}$$

Це означає, що інвестиції в перехід на біодизельне паливо окупляться за 10 років.

Розрахунок чистої приведеної вартості (NPV) проекту переходу на біодизельне паливо є важливим етапом економічного аналізу. NPV може бути розрахована за формулою:

$$NPV = -I + \sum \frac{CF_t}{(1 + r)^t}$$

де I - початкові інвестиції; CF_t - грошовий потік в період t; r - ставка дисконтування; t - період часу.

Наприклад, якщо початкові інвестиції складають 50000 грн, щорічна економія - 5000 грн, ставка дисконтування - 10%, а термін проекту - 10 років, то NPV складе:

$$NPV = -50000 + 5000 \times \frac{1 - (1 + 0.1)^{-10}}{0,1} = -19276.83 \text{ грн}$$

Це означає, що проект переходу на біодизельне паливо є економічно не вигідним за даних умов.

Важливим аспектом економічного аналізу є розрахунок внутрішньої норми прибутковості (IRR) проекту переходу на біодизельне паливо. IRR може бути розрахована шляхом знаходження такої ставки дисконтування, при якій NPV проекту дорівнює нулю:

$$0 = -I + \sum \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Для даного прикладу, IRR може бути розрахована ітераційним методом і складає приблизно 3,5%. Це означає, що проект буде економічно вигідним, якщо ставка дисконтування буде нижче 3,5%.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

3.1 Оптимізація складу біодизельного палива для покращення екологічних показників

Оптимізація складу біодизельного палива є ключовим фактором у покращенні екологічних показників дизельного двигуна. Одним з основних параметрів, що підлягають оптимізації, є співвідношення різних типів жирних кислот у складі біодизелю. Оптимальне співвідношення може бути розраховане за формулою:

$$R = \frac{C16:0 + C18:0}{C18:1 + C18:2 + C18:3}$$

де R - співвідношення насичених до ненасичених жирних кислот; C16:0 - вміст пальмітинової кислоти; C18:0 - вміст стеаринової кислоти; C18:1 - вміст олеїнової кислоти; C18:2 - вміст лінолевої кислоти; C18:3 - вміст ліноленової кислоти.

Наприклад, якщо вміст пальмітинової кислоти складає 10%, стеаринової - 5%, олеїнової - 30%, лінолевої - 40%, ліноленової - 15%, то:

$$R = \frac{10 + 5}{30 + 40 + 15} = 0,176$$

Це співвідношення вважається оптимальним для забезпечення балансу між цетановим числом та емісійними характеристиками біодизельного палива.

Таблиця 3.1

Оптимізований склад біодизельного палива для покращення екологічних показників

Компонент	Вміст, %
Метиловий естер пальмітинової кислоти	10
Метиловий естер стеаринової кислоти	5
Метиловий естер олеїнової кислоти	30
Метиловий естер лінолевої кислоти	40
Метиловий естер ліноленової кислоти	15

Важливим аспектом оптимізації складу біодизельного палива є регулювання вмісту кисню. Оптимальний вміст кисню може бути розрахований за формулою:

$$O = \frac{MO \times nO}{MC \times nC + MH \times nH + MO \times nO}$$

де O - масова частка кисню; MO, MC, MH - молярні маси кисню, вуглецю та водню відповідно; nO, nC, nH - кількість атомів кисню, вуглецю та водню в молекулі естеру відповідно.

Наприклад, для метилового естеру олеїнової кислоти ($C_{19}H_{36}O_2$):

$$O = \frac{16 \times 2}{12 \times 19 + 1 \times 36 + 16 \times 2} = 0,1077$$

Це означає, що масова частка кисню в метиловому естері олеїнової кислоти складає 10,77%.

Оптимізація цетанового числа біодизельного палива є важливим етапом покращення екологічних показників. Цетанове число може бути розраховане за емпіричною формулою:

$$CN = \frac{46,3 + 5458}{SV - 0,225 \times IV}$$

де CN - цетанове число; SV - число омилення; IV - йодне число.

Наприклад, якщо число омилення складає 190, а йодне число - 100, то:

$$CN = \frac{46,3 + 5458}{190 - 0,225 \times 100} = 51,8$$

Це значення цетанового числа вважається оптимальним для забезпечення ефективного згоряння та зниження емісії шкідливих речовин.

Важливим аспектом оптимізації складу біодизельного палива є регулювання в'язкості. Кінематична в'язкість може бути розрахована за формулою Вальтера:

$$\log(\log(\nu + 0,8)) = A - B \times \log(T)$$

де ν - кінематична в'язкість; T - абсолютна температура; A, B - константи, характерні для даного палива.

Наприклад, якщо $A = 8,5, B = 3,5, T = 313 K (40^\circ C)$, то:

$$\log(\log(v + 0,8)) = 8,5 - 3,5 \times \log(313) \quad v = 4,3 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Це значення в'язкості знаходиться в оптимальному діапазоні для забезпечення ефективного розпилення палива та зниження емісії твердих частинок.

Оптимізація температури застигання біодизельного палива є важливим етапом покращення його експлуатаційних характеристик. Температура застигання може бути розрахована за емпіричною формулою:

$$T_z = 0,526 \times C_{16:0} - 4,992 \times C_{18:1} + 176,8$$

де T_z - температура застигання в $^{\circ}\text{C}$; $C_{16:0}$ - вміст пальмітинової кислоти в %; $C_{18:1}$ - вміст олеїнової кислоти в %.

Наприклад, якщо вміст пальмітинової кислоти складає 10%, а олеїнової - 30%, то:

$$T_z = 0,526 \times 10 - 4,992 \times 30 + 176,8 = 27,8^{\circ}\text{C}$$

Це значення температури застигання є досить високим, тому для покращення низькотемпературних властивостей палива необхідно збільшити вміст ненасичених жирних кислот.

Важливим аспектом оптимізації складу біодизельного палива є регулювання його окислювальної стабільності. Період індукції, який характеризує окислювальну стабільність, може бути розрахований за формулою:

$$IP = a \times \exp(b \times PUFA)$$

де IP - період індукції в годинах; $PUFA$ - вміст поліненасичених жирних кислот в %; a , b - емпіричні коефіцієнти [17, с. 263].

Наприклад, якщо $a = 20$, $b = -0,02$, $PUFA = 55\%$, то:

$$IP = 20 \times \exp(-0,02 \times 55) = 9,1 \text{ годин}$$

Це значення періоду індукції є досить низьким, тому для підвищення окислювальної стабільності необхідно зменшити вміст поліненасичених жирних кислот або додати антиоксиданти.

Оптимізація теплоти згоряння біодизельного палива є важливим етапом покращення енергетичних показників двигуна. Нижча теплота згоряння може бути розрахована за формулою:

$$Q = 33,9 \times C + 125,6 \times H - 10,9 \times O$$

де Q - нижча теплота згоряння в МДж/кг; C , H , O - масові частки вуглецю, водню та кисню відповідно.

Наприклад, якщо масова частка вуглецю складає 0,77, водню – 0,12, кисню – 0,11, то:

$$Q = 33,9 \times 0,77 + 125,6 \times 0,12 - 10,9 \times 0,11 = 37,8 \text{ МДж/кг}$$

Це значення нижчої теплоти згоряння є типовим для біодизельного палива і дещо нижчим, ніж у традиційного дизельного палива.

Важливим аспектом оптимізації складу біодизельного палива є регулювання його густини. Густина може бути розрахована за формулою:

$$\rho = \rho_0 \times (1 - \beta \times (T - T_0))$$

де ρ - густина при температурі T ; ρ_0 - густина при стандартній температурі T_0 ; β - коефіцієнт об'ємного розширення.

Наприклад, якщо $\rho_0 = 880 \text{ кг/м}^3$ при $T_0 = 15^\circ\text{C}$, $\beta = 0,0008 \text{ K}^{-1}$, $T = 40^\circ\text{C}$, то:

$$\rho = 880 \times (1 - 0,0008 \times (40 - 15)) = 862 \text{ кг/м}^3$$

Це значення густини знаходиться в оптимальному діапазоні для забезпечення ефективної роботи паливної системи.

Оптимізація фракційного складу біодизельного палива є важливим етапом покращення його експлуатаційних характеристик. Температура кінця кипіння може бути розрахована за формулою:

$$T_{95} = a + b \times CN$$

де T_{95} - температура, при якій випаровується 95% палива; CN - цетанове число; a , b - емпіричні коефіцієнти [20, с. 60].

Наприклад, якщо $a = 250$, $b = 2,5$, $CN = 51,8$, то:

$$T_{95} = 250 + 2,5 \times 51,8 = 379,5^\circ\text{C}$$

Це значення температури кінця кипіння є типовим для біодизельного палива і забезпечує його повне згоряння в циліндрах двигуна.

Важливим аспектом оптимізації складу біодизельного палива є регулювання його змащувальних властивостей. Діаметр плями зносу може бути розрахований за емпіричною формулою:

$$WSD = a - b \times \log(v)$$

де WSD - діаметр плями зносу в мкм; v - кінематична в'язкість при 40°C в мм²/с; a , b - емпіричні коефіцієнти.

Наприклад, якщо $a = 600$, $b = 250$, $v = 4,3$ мм²/с, то:

$$WSD = 600 - 250 \times \log(4,3) = 441 \text{ мкм}$$

Це значення діаметра плями зносу вказує на хороші змащувальні властивості біодизельного палива.

Оптимізація вмісту води в біодизельному паливі є важливим етапом покращення його якості. Максимально допустимий вміст води може бути розрахований за формулою:

$$W = \frac{S \times P}{R \times T \times \rho}$$

де W - масова частка води; S - розчинність води в біодизелі; P - тиск насиченої пари води; ρ - густина біодизелю; R - універсальна газова стала; T - абсолютна температура.

Наприклад, якщо $S = 0,0015$, $P = 3,17$ кПа, $\rho = 862$ кг/м³, $R = 461,5$ Дж/(кг · К), $T = 313$ К, то:

$$W = \frac{0,0015 \times 3170}{862 \times 461,5 \times 313} = 0,00038 \text{ або } 380 \text{ ppm}$$

Це значення вмісту води є максимально допустимим для забезпечення стабільності біодизельного палива при зберіганні.

3.2 Розрахунок і проектування системи подачі біодизельного палива для дизельного двигуна

Розрахунок і проектування системи подачі біодизельного палива є ключовим етапом адаптації дизельного двигуна до роботи на альтернативному паливі. Одним з основних параметрів, що підлягають розрахунку, є продуктивність паливного насоса. Продуктивність насоса може бути розрахована за формулою:

$$Q = \frac{Ge \times Ne}{3600 \times \rho}$$

де Q - продуктивність насоса в л/с; Ge - питома ефективна витрата палива в г/(кВт·год); Ne - номінальна потужність двигуна в кВт; ρ - густина палива в кг/л.

Наприклад, якщо $Ge = 220$ г/(кВт · год), $Ne = 100$ кВт, $\rho = 0,88$ кг/л, то:

$$Q = \frac{220 \times 100}{3600 \times 0,88} = 6,94 \text{ л/с}$$

Це значення продуктивності насоса забезпечує подачу необхідної кількості палива для роботи двигуна на номінальній потужності.

Важливим аспектом проектування системи подачі біодизельного палива є розрахунок діаметра паливопроводів. Діаметр паливопроводу може бути розрахований за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times v}}$$

де d - внутрішній діаметр паливопроводу в м; Q - об'ємна витрата палива в м³/с; v - швидкість руху палива в м/с.

Наприклад, якщо $Q = 6,94 \times 10^{-3}$ м³/с, $v = 5$ м/с, то:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 6,94 \times 10^{-3}}{\pi \times 5}} = 0,042 \text{ м або } 42 \text{ мм}$$

Це значення діаметра паливопроводу забезпечує необхідну швидкість руху палива без надмірних гідравлічних втрат. Розрахунок тиску впорскування біодизельного палива є важливим етапом проектування системи подачі. Тиск впорскування може бути розрахований за формулою:

$$p = \frac{2 \times Q^2 \times \rho}{\mu^2 \times f^2}$$

де p - тиск впорскування в Па; Q - об'ємна витрата палива через форсунку в м³/с; ρ - густина палива в кг/м³; μ - коефіцієнт витрати форсунки; f - площа прохідного перерізу форсунки в м².

Наприклад, якщо $Q = 1,5 \times 10^{-5}$ м³/с, $\rho = 880$ кг/м³, $\mu = 0,7$, $f = 1,2 \times 10^{-6}$ м², то:

$$p = \frac{2 \times (1,5 \times 10^{-5})^2 \times 880}{0,7^2 \times (1,2 \times 10^{-6})^2} 39,7 \text{ МПа}$$

Це значення тиску впорскування забезпечує ефективне розпилення біодизельного палива в камері згорання.

Важливим аспектом проектування системи подачі біодизельного палива є розрахунок кута випередження впорскування. Оптимальний кут випередження впорскування може бути розрахований за емпіричною формулою:

$$\theta = \theta_0 + k \times (\nu - \nu_0)$$

де θ - оптимальний кут випередження впорскування в градусах повороту колінчастого вала; θ_0 - базовий кут випередження впорскування для дизельного палива; k - коефіцієнт корекції; ν - кінематична в'язкість біодизельного палива; ν_0 - кінематична в'язкість дизельного палива.

Наприклад, якщо $\theta_0 = 12^\circ$, $k = 0,5$, $\nu = 4,5$ мм²/с, $\nu_0 = 3$ мм²/с, то:

$$\theta = 12 + 0,5 \times (4,5 - 3,0) = 12,75^\circ$$

Це значення кута випередження впорскування забезпечує оптимальний момент початку горіння біодизельного палива.

Розрахунок тривалості впорскування біодизельного палива є важливим етапом оптимізації роботи системи подачі. Тривалість впорскування може бути розрахована за формулою:

$$t = \frac{6 \times q_{\text{ц}}}{\mu \times f \times \sqrt{2 \times \frac{p}{\rho}}}$$

де t - тривалість впорскування в секундах; $q_{ц}$ - циклова подача палива в м^3 ; μ - коефіцієнт витрати форсунки; f - площа прохідного перерізу форсунки в м^2 ; p - тиск впорскування в Па; ρ - густина палива в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Наприклад, якщо $q_{ц} = 1,2 \times 10^{-7} \text{ м}^3$, $\mu = 0,7$, $f = 1,2 \times 10^{-6} \text{ м}^2$, $p = 39,7 \times 10^6 \text{ Па}$, $\rho = 880 \text{ кг}/\text{м}^3$, то:

$$t = \frac{6 \times 1,2 \times 10^{-7}}{0,7 \times 1,2 \times 10^{-6} \times \sqrt{2 \times 39,7 \times \frac{10^6}{880}}} = 0,0018 \text{ с}$$

Це значення тривалості впорскування забезпечує подачу необхідної кількості біодизельного палива за цикл.

Важливим аспектом проектування системи подачі біодизельного палива є розрахунок необхідної потужності паливного насоса. Потужність насоса може бути розрахована за формулою:

$$N = \frac{Q \times p}{\eta}$$

де N - потужність насоса в Вт; Q - об'ємна подача насоса в $\text{м}^3/\text{с}$; p - тиск, що створюється насосом в Па; η - коефіцієнт корисної дії насоса.

Наприклад, якщо $Q = 6,94 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $p = 0,3 \times 10^6 \text{ Па}$, $\eta = 0,8$, то:

$$N = \frac{6,94 \times 10^{-3} \times 0,3 \times 10^6}{0,8} = 2603 \text{ Вт або } 2,6 \text{ кВт}$$

Ця потужність насоса забезпечує необхідний тиск та подачу біодизельного палива в системі.

Розрахунок об'єму паливного фільтра є важливим етапом проектування системи подачі біодизельного палива. Об'єм фільтра може бути розрахований за формулою:

$$V = \frac{Q \times t}{n}$$

де V - об'єм фільтра в м^3 ; Q - об'ємна витрата палива через фільтр в $\text{м}^3/\text{с}$; t - час роботи до заміни фільтра в секундах; n - коефіцієнт запасу.

Наприклад, якщо

$$Q = 6,94 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}, t = 100 \text{ годин} = 360000 \text{ с}, n = 2, \text{ то:}$$

$$V = \frac{6,94 \times 10^{-3} \times 360000}{2} = 1249 \text{ л}$$

Цей об'єм фільтра забезпечує ефективне очищення біодизельного палива протягом заданого терміну експлуатації.

3.3 Рекомендації щодо модифікації конструкції дизельного двигуна для ефективного використання біодизельного палива

Модифікація конструкції дизельного двигуна для ефективного використання біодизельного палива вимагає комплексного підходу з урахуванням специфічних властивостей альтернативного палива. Одним з ключових аспектів є адаптація паливної системи до роботи з біодизелем. Зокрема, необхідно враховувати, що біодизельне паливо має вищу в'язкість порівняно з традиційним дизельним паливом, що може призвести до збільшення гідравлічних втрат у паливній системі. Для компенсації цього ефекту рекомендується збільшення прохідних перерізів паливопроводів та каналів паливного насоса високого тиску на 10-15%.

Оптимізація процесу впорскування палива є критично важливою для забезпечення ефективної роботи двигуна на біодизельному паливі. Збільшення в'язкості біодизелю вимагає підвищення тиску впорскування для досягнення аналогічного ступеня розпилення. Це може бути реалізовано шляхом модифікації пружини форсунки або заміни її на більш жорстку. Крім того, може виникнути необхідність у збільшенні діаметра сопел розпилювача для компенсації зменшення витрати через підвищену в'язкість палива.

Важливим аспектом модифікації є оптимізація геометрії камери згоряння. Біодизельне паливо має дещо нижчу теплотворну здатність порівняно з традиційним дизельним паливом, що може призвести до зниження потужності двигуна. Для компенсації цього ефекту рекомендується збільшення ступеня стиснення на 0.5-1 одиницю. Це може бути досягнуто шляхом зменшення об'єму камери згоряння в поршні або збільшення висоти виступу поршня.

Адаптація системи охолодження двигуна є необхідною через вищу температуру згоряння біодизельного палива. Збільшення теплового навантаження на двигун може призвести до перегріву та прискореного зносу деталей. Для запобігання цьому може знадобитися збільшення продуктивності водяного насоса або встановлення додаткового радіатора. Також важливо забезпечити ефективний теплообмін у системі охолодження, що може вимагати використання спеціальних охолоджуючих рідин з поліпшеними теплофізичними властивостями.

Модифікація системи змащення є критично важливою для забезпечення довговічності двигуна при роботі на біодизельному паливі. Біодизель має тенденцію до розщеплення моторної оливи, що може призвести до погіршення її властивостей та прискореного зносу деталей двигуна. Для запобігання цьому рекомендується використання спеціальних моторних олив з підвищеною стійкістю до окислення та розщеплення. Крім того, може виникнути необхідність у збільшенні частоти заміни оливи на 20-30% порівняно з рекомендованими інтервалами для роботи на традиційному дизельному паливі.

Оптимізація системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) є важливим етапом адаптації двигуна до роботи на біодизельному паливі. Використання біодизелю зазвичай призводить до збільшення викидів оксидів азоту (NO_x), що вимагає коригування параметрів системи EGR. Рекомендується зменшення ступеня рециркуляції на 10-15% для компенсації цього ефекту. Це може бути досягнуто шляхом модифікації клапана EGR або перепрограмування електронного блоку управління двигуном.

Адаптація системи турбонаддуву є необхідною для оптимізації роботи двигуна на біодизельному паливі. Зміна складу та властивостей відпрацьованих газів при використанні біодизелю може призвести до зміни характеристик турбокомпресора. Для забезпечення ефективної роботи системи наддуву може знадобитися оптимізація геометрії турбіни та компресора. Зокрема, рекомендується збільшення прохідного перерізу турбіни на 5-8% для компенсації зміни складу відпрацьованих газів.

Модифікація системи нейтралізації відпрацьованих газів є критично важливою для забезпечення відповідності екологічним нормам при роботі на біодизельному паливі. Збільшення викидів NO_x вимагає оптимізації конструкції каталітичного нейтралізатора. Рекомендується збільшення об'єму каталітичного блоку на 10-15% для забезпечення ефективної нейтралізації підвищених викидів оксидів азоту. Крім того, може виникнути необхідність у використанні каталізаторів з поліпшеними характеристиками, специфічно розроблених для роботи з біодизельним паливом.

Адаптація електронної системи управління двигуном є ключовим етапом оптимізації роботи на біодизельному паливі. Специфічні властивості біодизелю вимагають коригування параметрів впорскування, запалювання та роботи допоміжних систем. Рекомендується перепрограмування електронного блоку управління з урахуванням характеристик біодизельного палива. Це включає оптимізацію карт впорскування, коригування моменту запалювання та адаптацію алгоритмів роботи систем EGR та турбонаддуву.

Модифікація системи підігріву палива є необхідною для забезпечення надійного пуску та стабільної роботи двигуна в холодних умовах. Біодизельне паливо має вищу температуру застигання порівняно з традиційним дизельним паливом, що може призвести до проблем при експлуатації в зимовий період. Рекомендується встановлення додаткових підігрівачів палива в паливній системі та модифікація алгоритмів роботи існуючих систем підігріву. Це дозволить забезпечити необхідну температуру палива для ефективного розпилення та займання в широкому діапазоні умов експлуатації.

Оптимізація конструкції поршневої групи є важливим аспектом адаптації двигуна до роботи на біодизельному паливі. Зміна характеристик процесу згоряння може призвести до збільшення теплового та механічного навантаження на поршні. Для забезпечення надійності та довговічності рекомендується використання поршнів з поліпшеними термомеханічними властивостями. Це може включати застосування спеціальних сплавів, оптимізацію геометрії поршня та модифікацію системи охолодження поршня через масляні форсунки.

Адаптація системи вентиляції картера є необхідною для запобігання накопиченню конденсату та продуктів розкладання біодизельного палива. Біодизель має вищу схильність до утворення відкладень та осадів, що може призвести до забруднення системи вентиляції картера. Рекомендується встановлення більш ефективних сепараторів масляного туману та оптимізація конструкції системи вентиляції для забезпечення ефективного видалення газів та парів з картера двигуна.

Модифікація системи паливopідготовки є важливим етапом адаптації двигуна до роботи на біодизельному паливі. Біодизель має вищу гігроскопічність порівняно з традиційним дизельним паливом, що може призвести до накопичення води в паливній системі. Для запобігання цьому рекомендується встановлення більш ефективних водовідділювачів та фільтрів тонкого очищення. Крім того, може виникнути необхідність у збільшенні частоти заміни паливних фільтрів для забезпечення надійної роботи паливної системи.

Оптимізація конструкції випускної системи є необхідною для забезпечення ефективного відведення відпрацьованих газів при роботі на біодизельному паливі. Зміна складу та температури відпрацьованих газів може призвести до збільшення протитиску у випускній системі. Рекомендується оптимізація геометрії випускних каналів та глушника для мінімізації гідравлічних втрат. Крім того, може виникнути необхідність у використанні матеріалів з підвищеною термостійкістю для забезпечення довговічності компонентів випускної системи.

Адаптація системи запуску двигуна є важливим аспектом забезпечення надійної експлуатації на біодизельному паливі. Вища в'язкість біодизелю може призвести до збільшення опору прокручуванню колінчастого вала при низьких температурах. Для компенсації цього ефекту рекомендується використання стартера з підвищеною потужністю або встановлення додаткових систем полегшення пуску, таких як свічки розжарювання з поліпшеними характеристиками або системи попереднього підігріву охолоджуючої рідини.

Модифікація системи діагностики та моніторингу роботи двигуна є необхідною для забезпечення ефективного контролю за його станом при роботі на біодизельному паливі. Специфічні властивості біодизелю можуть призвести до зміни характеристик роботи двигуна, що вимагає адаптації алгоритмів діагностики. Рекомендується впровадження додаткових датчиків для моніторингу якості палива, стану масла та інших критичних параметрів. Крім того, може виникнути необхідність у модифікації програмного забезпечення системи бортової діагностики для коректної інтерпретації даних при роботі на біодизельному паливі.

Оптимізація конструкції системи очистки повітря є важливим етапом адаптації двигуна до роботи на біодизельному паливі. Зміна характеристик процесу згоряння може призвести до збільшення утворення сажі та інших твердих частинок. Для забезпечення ефективної роботи двигуна рекомендується використання повітряних фільтрів з підвищеною ефективністю очистки. Крім того, може виникнути необхідність у збільшенні частоти обслуговування системи очистки повітря для підтримання оптимальних умов роботи двигуна.

Адаптація системи регулювання температури наддувочного повітря є необхідною для оптимізації процесу згоряння біодизельного палива. Вища температура згоряння біодизелю може призвести до збільшення теплового навантаження на систему охолодження наддувочного повітря. Рекомендується оптимізація конструкції інтеркулера та системи циркуляції охолоджуючої рідини для забезпечення ефективного охолодження наддувочного повітря. Це дозволить підтримувати оптимальну щільність заряду та ефективність роботи двигуна в широкому діапазоні умов експлуатації.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було всебічно проаналізовано шляхи покращення екологічних показників дизельного двигуна шляхом використання біодизельного палива. Встановлено, що біодизель має значний потенціал для зниження негативного впливу транспортного сектору на навколишнє середовище при одночасному збереженні ефективності роботи двигунів.

Проведений аналіз характеристик та властивостей біодизельного палива показав, що воно має ряд переваг порівняно з традиційним дизельним паливом, включаючи вищу біорозкладність, нижчий вміст сірки та кращі змащувальні властивості. Однак, було також виявлено певні недоліки, такі як вища в'язкість та нижча теплотворна здатність, які потребують врахування при адаптації двигунів.

Дослідження впливу біодизельного палива на роботу дизельного двигуна виявило, що його використання призводить до зниження викидів вуглекислого газу, твердих частинок та незгорілих вуглеводнів. Водночас, було відзначено незначне збільшення викидів оксидів азоту, що вимагає додаткових заходів для їх нейтралізації.

Розрахунки зміни екологічних показників при переході на біодизельне паливо підтвердили його позитивний вплив на загальний рівень викидів шкідливих речовин. Зокрема, було встановлено зниження викидів CO₂ на 7,69%, твердих частинок на 37,5% та CO на 25% при використанні чистого біодизелю (B100) порівняно з традиційним дизельним паливом.

Розроблені рекомендації щодо модифікації конструкції дизельного двигуна для ефективного використання біодизелю включають оптимізацію паливної системи, адаптацію системи впорскування та модифікацію камери згоряння. Запропоновані зміни дозволяють компенсувати відмінності у фізико-хімічних властивостях біодизелю та забезпечити стабільну роботу двигуна.

Запропоновані методи оптимізації складу біодизельного палива, включаючи регулювання співвідношення насичених та ненасичених жирних

кислот, дозволяють покращити його експлуатаційні та екологічні характеристики. Встановлено, що оптимальне співвідношення жирних кислот ($R = 0,176$) забезпечує баланс між цетановим числом та емісійними характеристиками біодизелю.

Проведений економічний аналіз показав, що використання біодизельного палива може бути економічно вигідним за певних умов. Розрахунки показали, що при поточних цінах на паливо та за умови державної підтримки, термін окупності переходу на біодизель може складати близько 10 років. Однак, для підвищення економічної ефективності необхідно вдосконалення технологій виробництва та оптимізація логістичних процесів.

Розроблені в ході дослідження методики розрахунку та оптимізації параметрів роботи дизельного двигуна на біодизельному паливі можуть бути використані при проектуванні нових та модернізації існуючих двигунів. Ці методики дозволяють прогнозувати зміни в роботі двигуна та оптимізувати його конструкцію з урахуванням специфічних властивостей біодизелю.

Запропоновані рекомендації щодо адаптації систем очистки відпрацьованих газів для роботи з біодизельним паливом дозволяють ефективно нейтралізувати підвищені викиди оксидів азоту. Зокрема, оптимізація роботи системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) та модифікація каталітичного нейтралізатора забезпечують відповідність сучасним екологічним стандартам.

Результати дослідження підтверджують необхідність комплексного підходу до впровадження біодизельного палива, що включає не лише технічні аспекти адаптації двигунів, але й розвиток інфраструктури виробництва та розподілу біодизелю. Це вимагає координації зусиль виробників двигунів, паливних компаній та державних органів.

Проведений аналіз життєвого циклу біодизельного палива показав, що його використання дозволяє значно знизити загальний вуглецевий слід транспортного сектору. Однак, було відзначено необхідність подальшої оптимізації процесів вирощування сировини та виробництва біодизелю для максимізації екологічних переваг.

Розроблені в ході дослідження методи оцінки якості біодизельного палива та його сумішей з традиційним дизельним паливом можуть бути використані для контролю якості палива на виробництві та в процесі експлуатації. Це дозволить забезпечити стабільність характеристик палива та надійність роботи двигунів.

Результати дослідження підкреслюють важливість подальшого розвитку технологій виробництва біодизельного палива з нехарчової сировини, включаючи водорості та відходи. Це дозволить зняти потенційні конфлікти між виробництвом продовольства та біопалива, а також розширити сировинну базу для виробництва біодизелю.

Загалом, проведене дослідження підтверджує перспективність використання біодизельного палива як одного з ключових елементів стратегії декарбонізації транспортного сектору. Розроблені рекомендації та методики створюють основу для широкомасштабного впровадження біодизелю, що сприятиме покращенню екологічної ситуації та зниженню залежності від викопних видів палива.