

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 – КМР. 385 “С” 2021.03.01. 005 ПЗ

КОВАЛЬ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.3:629.3.05

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені М.П. Момотенка
(назва кафедри)

В. Братішко

(підпис)

Роговський І.Л.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2021 р.

“ ” 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування автомобільних кузовів в АПК

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма: «Автомобільний транспорт»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, професор

В.Д. Войтюк

(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

Кандидат технічних наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

Тітова Л.Л.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Коваль Євгеній Олександрович

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка
докт. тех. наук, с.н.с. Роговський Г.І.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2021 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Ковалю Євгенію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма: «Автомобільний транспорт»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Використання дизельного палива із додаванням
пальмової олії мобільними автотранспортними засобами в АПК

затверджена наказом ректора НУБіП України від “01” березня 2021 р. №385

Термін подання завершеної роботи на кафедру _ 10.11.2021 року

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: технічні засоби, дизельне паливо із
додаванням пальмової олії мобільними автотранспортними засобами в АПК, математична
модель, проведення експерименту, прилади
вимірювання

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стані аналіз питання. Мета дослідження
2. Теоретичне дослідження дизельного палива із додаванням пальмової олії мобільними
автотранспортними засобами в АПК
3. Експериментальні дослідження. Методика проведення.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “ ” 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Тітова Л.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Коваль Є.О.

(прізвище та ініціали студента)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВТ – альтернативні види палива

АПК – агропромисловий комплекс

ГК – газовий конденсат

ДВЗ - двигун внутрішнього згорання

ДП - нафтове дизельне паливо

ЄС – Європейський союз

КО - кукурудзяна олія

КЗ - камера згорання

ККД – коефіцієнт корисної дії

МТА – машинно-тракторний агрегат

МЕ - метиловий ефір

МЕРО - метилові ефіри рослинних олій

ВГ - гази, що відпрацювали

ПК – програмний комплекс

ОО - оливкова олія

ПО - пальмова олія

СМП – синтетичне моторне паливо

ПНВТ – паливний насос високого тиску

ТЗ - транспортний засіб

КВВ - кут випередження впорскування

АО - арахісова олія

ЦЧ – цетанове число

ЕСО - ефір соняшникової олії

ЕРО - ефір ріпакової олії

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Нині зберігається стала тенденція розширення паливної бази для дизельних двигунів автомобілів у АГК з допомогою використання альтернативних палив, включаючи палива рослинного походження. Це пов'язано зі зростанням кількості експлуатаційних машин відносно високою ціною на нафтові палива і нестабільністю нафтового ринку. Особливо актуальним є розширення паливної бази сільськогосподарської техніки для країн, які не мають запасів нафти, але де розвинені виробництво та переробка сільськогосподарської продукції. Україна зацікавлена у використанні як біопаливо пальмової олії, світове виробництво якого перевершує виробництво інших рослинних олій. В Африканському регіоні культура олійної пальми поширена, природно-кліматичні умови землеробських районів сприятливі її вирощування, трудові ресурси підтримки посівних площ забезпечені.

Переведення та адаптація дизельних двигунів мобільних транспортно-технологічних машин сільськогосподарського виробництва на живлення сумішами нафтового дизельного палива (ДП) з пальмовою олією (ПО) потребує знання особливостей роботи та експлуатації дизелів на таких паливах. Зокрема необхідно знати, якою мірою перехід на сумішеві палива впливає на показники дизеля і як цей вплив залежить від величини добавки ПО, чи вимагають зміни регулювання паливної апаратури, як довго зберігаються сумішеві палива без розшарування їх компонентів і як впливає на збереження властивостей сумішевих палив їх температура.

Істотний вплив на процес упорскування та сумішоутворення надають гідродинамічні процеси в системі подачі палива, що залежать від фізичних властивостей палива. Зміна фізичних характеристик палива під час переходу до альтернативних видів палива слід враховувати при виборі регулювань паливної апаратури дизельного двигуна. Одна з найважливіших фізичних характеристик палива – коефіцієнт стисливості.

На кінець, необхідно знати як і якою мірою застосування сумішевих палив відбивається на екологічних характеристиках транспортно-технологічних

машин.

Метою дослідження є визначення впливу добавок ПО на показники роботи дизельних двигунів та необхідності зміни регулювань паливної апаратури під час експлуатації дизельних двигунів автомобілів у АПК на сумішових дизельних паливах з додаванням ПО.

Об'єкт дослідження - дизельний двигун Д-144, оснащений паливною апаратурою безпосередньої дії з механічним ІО управлінням. Вид палива - нафтове дизельне та дизельне з додаванням пальмової олії.

Предмет дослідження - фізичні властивості дизельного палива з додаванням ПО, показники робочого процесу дизеля, характеристики подачі палива, ефективні показники дизеля.

Методологія та методи дослідження:

- експериментальне визначення коефіцієнта стисливості дизельного палива з додаванням ПО,
- експериментальне визначення ефективних показників дизеля

Наукова новизна.

1. Визначено значення коефіцієнта стисливості ДП з різними за величиною добавками ПО та вперше отримано залежність значення коефіцієнта стисливості від величини добавки ПО.

2. Доведено, що в сумішах з ДП ПО залишається в краплинно-рідкому стані при температурі нижче температури застигання ПО.

3. Встановлено, що при використанні сумішевих палив із вмістом ПО за обсягом до 30% зміни регулювань паливної апаратури не потрібно.

Теоретична значущість роботи.

1. Встановлено, що характеристики процесу подачі (активний хід плунжера, масова циклова подача, тиск упорскування) дизельного палива з додаванням ПО від 10% до 30% за обсягом змінюються порівняно з чистим ДП незначно: активний хід плунжера на номінальному режимі 2000 хв^{-1} змінюється у межах від 0,68% до 1,86%.

2. Визначено залежність ефективних показників дизельного двигуна при його експлуатації на ДП із добавкою ПО від вмісту ПО у суміші.

3. Отримані величини коефіцієнта стисливості дизельного палива з добавками ПД можуть використовуватися при моделюванні процесу подачі в паливних системах дизелів

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Історія досліджень та застосування альтернативних біопалив на транспорті

Можна припустити, що у найближчі десятиліття дизельні двигуни залишаться основним типом силових установок для автомобілів у АПК.

Дизельний двигун економічніший, ніж бензиновий. Економія нафтової сировини при заміні бензинових двигунів на дизель може досягти 50%. У світовій структурі парку ДВЗ (сільськогосподарського призначення) дизелі становлять близько половини [14, 25, 27, 32, 45].

Найбільшу частку дизельні транспортні засоби займають у продажах таких компаній як Volkswagen, Volvo (80%), BMW (81%), Daimler (71%), Renault і Peugeot (Більше 50%) [33].

Вперше повернення до палива, альтернативного бензину, відбулося 1973 р., коли кілька арабських держав призупинили свої поставки нафти західним країнам та Японії. Бензин різко підскочив у ціні і швидко досяг позначки, що перевищує докризову в п'ятеро. З того часу пошук палива, яке звільнить світ від нафтової залежності, не припиняється. Ціни на бензин продовжують зростати [20], не спостерігається жодних реальних передумов, що вони впадуть. Тому постійно ведуться дослідження різних видів біологічного палива, переважно спиртів та біодизелів.

На жаль, дизельні двигуни є основним джерелом викидів токсичних речовин в атмосферу. Частка автомобільного транспорту з дизелями у викиді шкідливих речовин становить у США - 60,0%, у Великобританії - 35,5%, у Франції - 32%, у Китаї - 65%, в Україні - 22%, але у великих містах України ці цифри досягають 20-30% [33].

Особливо важка екологічна обстановка складається у густонаселених регіонах світу, де підвищення концентрації токсичних викидів в атмосферу призвело до глобальної зміни клімату та кліматичних аномалій.

У період 1985-1995 р.р. було відзначено низку ініціатив зі скорочення забруднюючих викидів з одиниці (т/км) транспортних засобів. За 20 років зафіксовано підвищення рівня викидів на 20-30%. З 2000 р. виникають нові

проблеми. Це, зокрема, парниковий ефект, який пов'язаний із викидами в атмосферу CO₂ при спалюванні викопних видів палива (нафта, газ, вугілля) [33].

Спроби використання альтернативного палива рослинного походження у транспортних дизелях роблять у різних країнах вже давно [39, 172, 229]. З повідомлень у газеті «Бельгійський Конго» (1932 р.) відомо, що з бельгійської колонізації території Демократичної республіки Конго у 1908 р. кілька інженерів і техніків першими почали використовувати ПО як паливо, для будівництва магістральної дороги, що з'єднує північ країни з річкою Ніл, оскільки будівництво знаходилося дуже далеко від порту. [14].

В Індії на транспорті та в сільськогосподарській техніці вже давно застосовують суміші метилового ефіру ПО з ДП, переважно у дизельних двигунах з безпосереднім упорскуванням. Результати є перспективними [18].

З наукового журналу «Вантажівка» (№4, 2009 р.) відомо, що у 2006 р. в Італії успішні випробування пройшов локомотив, який працює на соняшниковій олії. Дизель тепловоза був спеціально доопрацьований для використання екологічно чистого біопалива. «Соняшниковий» поїзд із пасажирськими вагонами здійснив першу поїздку завдовжки 25 км. [109].

У листопаді 2005 р. перший у світі катер, який використовує як паливо олію, спущений на воду озера Комо, розташованого в передгір'ях Альп на півночі Італії. Катер був обладнаний двигуном, що працює як на ДП, так і на технічній олії. Двигун легко перебудовується з одного палива до іншого. [107].

Концерн «Стирол» (Україна) почав виробляти біодизельне паливо - соняшникової олії для заправки власного автотранспорту та тепловозів. У цьому загальна протяжність внутрішніх залізничних колій біля концерну становить понад 30 км. На відміну від «зелених» поїздів, що працюють у Великій Британії, Швеції та Японії (там такі проекти розглядаються як експериментальні), тепловози, що використовуються в концерні «Стирол» із застосуванням біодизельного палива, експлуатувалися у звичайному виробничому режимі [17].

У 2005 р. у Клайпедському університеті (Литва) почали проводити

випробування серійно, що випускається високооборотного дизеля повітряного охолодження F2L511 (2410/10,5), використовуючи як паливо ріпаковий метиловий ефір (PME), промислове виробництво якого освоєно на литовському заводі «Рапсойл». За результатами випробувань зроблено висновок про практичну можливість конвертації даного дизеля для роботи на PME та його сумішах зі стандартним дизельним паливом. Встановлено, що з цього енергетична ефективність двигуна залишається практично незмінною, а викид шкідливих продуктів неповного згорання палива скорочується [11].

Для маркування біодизельних палив та їх сумішей із чистим ДП у зарубіжній технічній літературі прийнято умовні позначення, що складаються з літер та цифр. Наприклад, B0 - літери та цифри позначають чисте дизельне паливо, PB10 - означає суміш - 10% пальмового олії і 90% чистого ДТ, PB1B5 - означає суміш палива що складається з 5% пальмового біодизеля, 5% ятрофового біодизеля і 90% чистого ДТ.

У 1987р. Супорн (Suporn), Малайзія, [22] знайшов, що використання 100% рафінованого ПО в дизельному двигуні марки Kubota модель KNA 58 дає надійні результати вихідної потужності валу і кращу емісію, ніж при використанні суміші 70% ДП яке має перевагу лише у питомій витраті палива.

Аналіз результатів показав, що літома витрата палива першого двигуна, що працював на ДП, була на 14,2-19,0% менше, ніж другого двигуна, що працював на рафінованому ПО, димність відпрацьованих газів приблизно однакова, знос компресійних кілець був вищим у другого двигуна, працював на рафінованому ПО. При порівнянні дизелів, що працювали на ДП та ПО, враховувалися показники потужності, крутного моменту, питомої витрати палива, надійності, емісії ВП, а також економічні аспекти експлуатації самого двигуна по регіону. При порівняльному аналізі результатів випробувань було зазначено, що в роботі дизеля на ПО помітні переважно великі відкладення на компресійних кільцях і впускних клапанах, емісія викидів знизилася, а вартість ПО виявилася також нижче вартості ДП на 60%. Також було зазначено, що використання рослинних олій як паливо для дизелів дозволить зменшити енергетичну залежність країн, які не виробляють ДП.

Рашид М.М. та ін [20] у 2015 досліджували роботу дизеля із застосуванням біопалива на основі ПО (PB20), ятрофи (JB20) та метилового ефіру морингової олії (MB20) порівняно з ДП. Аналіз результатів також показав переваги використання суміші з ПО за всіма показниками.

В 2011 проводили порівняльні дослідження складу відпрацьованих газів та ефективних показників багатопаливального дизельного двигуна з роздільним сумішоутворенням, що працює на сумішових біопаливах. Досліджувалися суміші харчових відходів кокосової (CB5) та пальмової (PB5) олії з ДП у співвідношенні 5% на 95% відповідно. При випробуваннях з метою безпеки дизель працював при положенні важелів управління відповідно до 85% повного навантаження.

Зниження викидів CO порівняно з ДП склало 7,3% для CB5 та 21% для PB5, зниження викидів CH_x склало 23% для CB5 та 17% для PB5.

Декілька публікацій показують, що використання суміші 5% рослинної олії та 95% ДП у транспортних дизелях зменшує проблеми з утворенням сажі (димність O₁). [72, 76, 233]

Попит на паливо зростає, виснаження світових запасів нафти збільшується, що є ключовими факторами, які в даний час привели людство до необхідності реконструкції паливноенергетичного комплексу шляхом більш глибокої переробки нафти, застосування енергозберігаючих технологій, переходу на менш дорогі види палива та введення ініціатив зі скорочення викидів.

1.2 Напрямок та стан розвитку виробництва альтернативного палива для автомобільних двигунів

Виснаження ресурсів та пов'язане з цим зростання цін на паливо, підвищення рівня забруднення атмосфери, спричинене використанням традиційних джерел енергії, призвели до необхідності використання нетрадиційних видів палива для дизельних двигунів. Вони були створені для забезпечення економічного розвитку розвинених країн і країн з економікою, що розвивається.

Останнім часом основними напрямками щодо покращення екологічних

показників ДВЗ та економії моторного палива є адаптація дизелів до роботи на альтернативних паливах як поновлюваному енергоресурсі. Це також допоможе вирішити проблему зміни клімату. Тому дослідження властивостей відомих продуктів, які мають потенціал для експлуатації в автомобілях, а саме рослинних олій та їх сумішей з ДП, моделювання та дослідження процесів паливоподачі має бути одним з основних джерел поліпшення потужнісних, економічних та екологічних показників транспортного дизеля [18, 32].

Економічний потенціал відновлюваних джерел енергії в даний час оцінюється в 20 млрд. тон умовного палива на рік, що вдвічі перевищує обсяг річного видобутку всіх видів органічного палива. Ця обставина вказує шлях розвитку енергетики майбутнього, особливо регіональної та локальної. Промисловість, сільське господарство, транспорт та інші галузі протягом тривалого розвитку були спрямовані на традиційні нафтові палива. Однак невичерпність та екологічна чистота відновлюваних джерел енергії змушує по-новому розглядати можливості їх використання.

Найбільші перспективи, особливо для країн світу, мають ті альтернативні види палива, вихідну основу сировини для яких становлять рослинні олії та біогаз. Як сировина для моторного біодизельного палива масового використання, рослинні олії мають найкращі перспективи [36, 190, 191, 192, 232, 237].

Проблема створення альтернативного виду палива АВП обумовлена такими глобальними міркуваннями:

- ці палива, як правило, екологічно безпечні, при горінні забезпечують менше викидів, що забруднюють повітря, сприяють глобальному потеплінню;
- більшість АВП виробляється з невичерпних, відновлюваних ресурсів та запасів;
- використання АВП дозволяє будь-якій державі підвищити енергетичну незалежність та безпеку;
- розробка АВП має досить тривалу історію.

На європейському континенті біодизельні палива на основі рослинних олій були застосовані на автомобілях спочатку у Франції, Австрії, Німеччині

(Renault, Volkswagen), потім і деякими фірмами в США - John Deere, Allis Chalmers, Caterpillar.

Відповідно до літератури [20, 22], у спільній розбивці витрат на виготовлення біодизельного палива 75% його вартості становить олійну сировину (див. рис. 1.1). Це його важлива перевага. Наприклад, у Демократичній республіці Конго вартість олійної сировини з пальми становить 0,5-0,55 доларів за літр. Отже, застосування моторних палив із зазначеної сировини у вихідному вигляді або після спеціальної хімічної обробки, а також у суміші з дизельними паливами в ряді випадків буде економічно значно вигіднішим у країнах, де пальмова олія виробляється в надлишку, а середня ціна одного літра дизельного палива становить близько 1,5-2\$.



Рис/1.1 – Загальна розбивка витрат на виготовлення біодизеля [11].

Рослинні олії - це жири насіння чи плодів різних рослин, стримані пресуванням чи вилученням з допомогою розчинників. Рослинні олії складаються на 95-97% з триацилгліцеринів - органічних сполук, складних повних ефірів гліцерину, а також моно-і діацилгліцеринів. Ацилгліцерини, своєю чергою, містять у своєму складі молекули різних жирних кислот, що з молекулою гліцерину $C_3H_5(OH)_3$. За своєю хімічною структурою молекули жирних кислот відрізняються одна від одної лише вмістом атомів вуглецю та рівнем насичення хімічного зв'язку, тому властивості рослинних олій визначаються, здебільшого вмістом і складом жирних кислот, що утворюють триацилгліцерини. Зазвичай це насичені та ненасичені (з одним трьома подвійними зв'язками) жирні кислоти з парним числом атомів вуглецю (C_{16} та

С₁₈). Крім того, в рослинних оліях у невеликій кількості присутні жирні кислоти з непарним числом атомів (С₁₅-С₂₃).

Рослинні олії за нормальних умов можуть бути у твердому стані, але частіше вони є маслянисті рідини з підвищеними, проти дизельним паливом, щільністю ($\rho=900-1000 \text{ кг/м}^3$) і в'язкістю (60-100 $\text{мм}^2/\text{с}$ при 20⁰С і 30-40 $\text{мм}^2/\text{с}$ при 40⁰С) та порівняно невисокою температурою самозаймання.

Рідкі рослинні олії, у свою чергу, діляться на висихаючу (льняну, конопляну, тунгову), напіввисихаючу (макову, бавовняну, соєву, соняшкову, рапсову, пальмову) і невисихаючу (касторову).

Жирні кислоти, що є основним компонентом рослинних олій, є високомолекулярними кисневмісними сполуками з вуглеводневою основою.

Тому всі рослинні олії є горючими і можуть застосовуватися як моторне паливо. Низька випаровуваність і висока в'язкість рослинних олій унеможлиблює їх використання в бензинових двигунах. Вони можуть успішно застосовуватися як паливо для дизельних двигунів. Цьому сприяє порівняно невисока термічна стабільність рослинних олій і прийнятна температура їх самозаймання (280-320⁰С), що не набагато перевищує температуру

самозаймання дизельних палив (230-300⁰С). При цьому ЦЧ різних рослинних олій змінюється в межах від 33 до 50 одиниць, що можна порівняти з ЦЧ дизельних палив [37].

Вибір сировини для виробництва певного виду біодизельного палива залежить насамперед від найпоширеніших олійних культур, які ростуть у цій місцевості, економічних, матеріальних та трудових ресурсів для утримання посівних площ олійних культур та природно-кліматичних умов землеробських районів. Ці параметри впливають на вирощування кожного виду сировини.

За оцінкою ДАО, до 2030 р. при підвищенні попиту на рослинні олії у харчовій промисловості та енергетиці їхнє світове споживання та виробництво буде вдвічі більше, ніж у 2000 р. Протягом останніх років спостерігається зростання виробництва рослинної олії. Значення середньорічних приростів коливаються від 0,8 до 8,6%, а середній показник приросту обсягів виробництва

з 2000 становить 4,8% [29].

Світове виробництво основних рослинних олій показано на рис. 1.2. Лідерами на світовому ринку виробництва дизельного біодієльного палива є чотири види рослинної олії: пальмова, соєва, рапсова та соняшникова. У країнах Європи найбільш популярні в даному сегменті ріпакова та соняшникова олії, у США - соєва олія, у країнах з тропічним кліматом - пальмова олія.

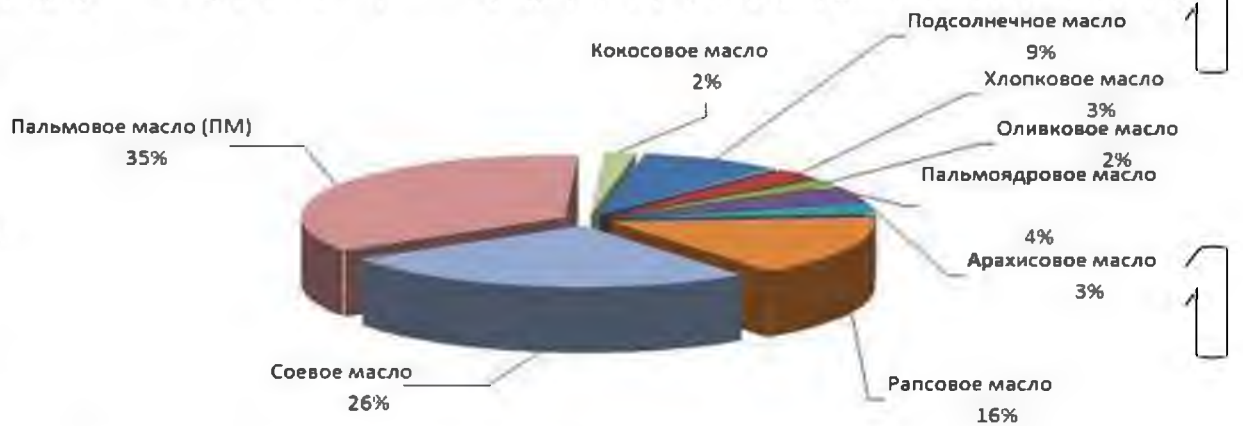


Рис. 1.2 - Світове виробництво основних рослинних олій.

Сировину для біодієльного палива можна розділити на чотири категорії: харчові олійні, нехарчові олійні, відходи або використані олії та тваринні жири.

Фізичний та хімічний аналіз властивостей харчової та нехарчової олії як сировини є дуже важливими для оцінки їх ефективності в майбутньому при виробництві біодієльного палива.

Джерелом рослинних олій є олійні рослини, що містять у різних своїх частинах рослинні жири. Жирні кислоти, є основними компонентами біодієльного палива являють собою високомолекулярні кисневімісні сполуки з вуглеводневою основою. За своєю хімічною структурою вони схожі на вуглеводні, що входять до складу нафтового дизельного палива.

Жирнокислотний склад рослинної олії як основи для конкретного біодієльного палива залежить від сорту сільськогосподарської культури, місця проростання, способу вилучення олії та його очищення, при цьому вміст в однотипних рослинних оліях різних жирних кислот може змінюватися в досить широких межах.

1.3 Загальні вимоги до палив. Відповідність сумішевих палив стандартам для дизельних палив

Застосування нетрадиційних моторних палив для автомобілів у АПК стає економічно перспективним для більшості країн світу, що імпортують нафтові енергоносії. Двигуни, отримані з нетрадиційних видів сировини, називають альтернативними моторними паливами.

Альтернативні палива можуть бути рідкими та газоподібними, які за фізико-хімічними властивостями, у тому числі агрегатним станом, можуть бути використані в двигунах внутрішнього згорання.

Альтернативні палива ділять на три групи:

- газоподібні;
- рідкі,
- тверді.

Рідкі види палива поділяються на три види - спиртові, олійні та ефіри.

Процес масового впровадження альтернативних видів палива (АВП) неминучий, оскільки визначається об'єктивними причинами обмеженості запасів нафти у світі та зростаючими вимогами до екологічності та ефективності використання енергоресурсів.

Найбільші перспективи, особливо для України, мають АВП, вихідну основу яких становить природний газ. Як моторне паливо масового використання, природний газ має найкращі перспективи.

Придатність палив для використання у дизельних двигунах визначається їх експлуатаційними якостями, оцінка їх базується на визначенні впливу фізико-хімічних властивостей палив на потужнісні показники двигуна, динаміку процесу згорання, економічні та екологічні характеристики [70, 83, 88]. Застосування деяких нетрадиційних палив дозволяє усунути ряд недоліків, властивих нафтовим паливам.

До фізико-хімічних властивостей палив відносять елементарний, фракційний та груповий вуглецевий склади, показники займистості та самозаймистості, теплотворна здатність та низькотемпературні властивості, щільність та в'язкість палив.

Незважаючи на їх перспективне застосування в дизелях, аналіз даних і результати переведення двигуна на ці палива показують, що різниця їх фізико-хімічних властивостей впливають на показники роботи дизелів. Зміна одного палива іншим вимагає адаптивних заходів щодо його дозування для запобігання надмірним змінам вихідної потужності. Найбільш важливими характеристиками палива є наступні: в'язкість, точка (температура) кипіння, здатність змащувати, щільність і точки самозаймання [16, 17]. На двигуні і системі упрскування палива необхідно застосовувати конструктивні заходи, щоб їх характеристики були оптимально підібрані один до одного.

Значний вплив на показники ефективності роботи дизеля надають процеси паливоподачі (тривалість подачі, тиск упрскування, якість розпилення). Це стосується двигунів з об'ємним та об'ємно-плівковим сумішоутворенням [40].

Крім того, АВП поділяють на полегшені та обтяжені. При роботі двигуна на полегшених паливах, з меншою в'язкістю і більшою стисливістю, зменшується продуктивність апаратури палива, що призводить до помітного зменшення потужності дизеля. Велика змішуваність полегшених палив збільшує запізнення і тривалість подачі, а їх гірша займистість в КС дизеля тягне за собою збільшення періоду затримки займання.

АВП обтяженої фракції та палива з олій також мають певні недоліки. Головною умовою підвищення ефективності застосування обтяжених палив у дизелях є вдосконалення методів та засобів обробки палива в експлуатаційних умовах шляхом застосування більш досконалих сепараторів, фільтрів, хімічних присадок до налив та мастил. Не менш важливими є вдосконалення конструкції дизелів та систем їх паливопідготовки.

АВП біологічного походження на відміну від нафтових палив містять значно менше вуглецю та більше кисню. У зв'язку з цим у них менша теплота згоряння і, отже, більша об'ємна витрата в двигунах. Біопаливо є перспективним для вирішення найближчим часом низки проблем, пов'язаних з використанням нафтових палив. Насамперед, вони є відновлюваними та виробляються на сільськогосподарських землях, що є в більшості країн. Крім

того, вони є біорозкладними. Крім перерахованого біопалива, мають ряд переваг при використанні в двигуні:

вони практично не містять сірки (0,001% за масою), що знижує викиди оксидів SOX у газах, що відпрацювали (ОГ);

- при їх використанні зменшуються викиди сажі;

- при спалюванні біодизеля виділяється така ж кількість вуглекислого газу CO₂, яка була поглинена рослинами при їх зростанні (кругобіг вуглекислоти), тобто зменшується внесок машинного парку в глобальний парниковий ефект;

вони не містять бензол та поліароматичні канцерогенні компоненти;

- вони здатні додатково змащувати деталі двигуна, що труться, що може сприяти збільшенню терміну служби двигуна;

До недоліків біодизеля слід віднести те, що він має нижчу теплоту згоряння нижче (майже на 15%), ніж нижча теплота згоряння нафтового ДП.

На відміну від нафтового дизеля, біопалива складаються з метилових ефірів рослинних олій (МЕРМ) або етилових ефірів рослинних олій (ЕРО). Як уже зазначалося, ці алкілові ефіри мають властивості, близькі до властивостей дизельного палива, що робить їх переважними в порівнянні з рослинними

оліями, і мають дистиляційні інтервали від 320⁰С до 350⁰С, маючи їх на рівні найважчих фракцій дизельного палива.

У таблиці 1.1 показані порівняно фізико-хімічні властивості нафтової ДП, МЕРО, ріпакової олії, ПО.

Лінія олійного виробництва (також їх називають «мережа біодизеля») так звана лінія переробки рослинних олій в моторні палива, від постачання вихідної рослинної сировини до продажу готового біопалива, часто перетворюють ріпакову олію на її метиловий ефір.

Таблиця 1.1

Порівняльні характеристики нафтового дизельного палива та різних видів біодизеля

	ДП	ЕРМ	ЕАМ	ЕРО	ЕСМ	ПО	ОМ	ХМ	КМ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Щільність при 20 °С, кг/м ³	830	916	917	923	924	918	914	919	1069
В'язкість кінематична, мм ² /с	3,8								
20 °С		75,0	81,5	65,2			-	-	-
50 °С		36,0	36,5	30,7	32,0	-	-	-	-
100 °С		8,1	8,3	7,4	7,7	8,6	8,4	7,7	19,9
Цетанове число	45	36	37	33	50	40	-	-	-
Кількість повітря для згорання одного кг речовини, кг/кг	14,3	12,6	11,2	11,1	12,5	12,7	-	12,5	-
Теплота згорання нижча, Н _о , МДж/кг	42,3	37,3	37,0	37,0	37,0	37,1	-	-	-
Температура самозаймання, °С	250	318	-	320	318	315	285	316	296
Температура застигання, °С	-35	-20	-	-16	-12	+30	-12	-18	-27
Масовий вміст сірки, %	0,20	0,002	-	-	-	-	-	-	-
Масовий зміст, % С	87,0	78,0	78,0	77,6	77,5	76,6	-	77,1	-
Н		10,0	12,3	11,5	11,5	12,0		11,7	
О	12,6 0,4	12,0	9,7	10,9	11,0	11,4	--	11,2	--
Кислотність, мг КОН/100 мл палива		4,66	-	2,14	0,03	0,17	5,90	0,23	0,19
Коксування 10%-ного залишку, %, не більше	0, 2	0,40	-	0,51	0,44	-	0,20	0,23	-

Добавка п'ятивідсоткової частки біодизеля може бути змішана з дизельним нафтовим паливом без зміни конструкції двигуна. Така суміш (до 7% добавки біопалива) вже доступна у Франції, Німеччині та Австрії. У цих

країнах представлені окремі паливозаправні станції, що містять чистий біодизель, який можуть використовувати лише транспортні засоби, оснащені адаптованими до біопалива двигунами. У Бразилії, США, Швеції, Франції, Іспанії сумішеві палива на основі етанолу та бензину вже активно використовуються, і автомобільний парк адаптований до роботи на сумішевих паливах.

Для обмеження негативного впливу автомобільних викидів на довкілля національні стандарти нормують їх концентрації (ГДК) у робочій зоні та атмосфері, а також їх масові викиди. Законодавчі обмеження у всьому світі стають дедалі суворішими до екологічності палива та технологій двигунів внутрішнього згоряння. Ці причини стали поштовхом до модернізації дизельних двигунів.

У таблиці 1.2 подано вимоги євростандартів до вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів.

Таблиця 1.2

Нормування шкідливих викидів автомобілів з дизельними двигунами

Стандарт	Рік введення	Викиди			
		NO _x	CO	C _x H _x	Частинки
ЄВРО - 0	1988	14,4	11,2	-	-
ЄВРО-I	1993	-	2720	-	140
ЄВРО-II	1996	-	1000	-	100
ЄВРО - III	1999	500	640	-	50
ЄВРО-IV	2005	250	500	-	25
Стандарт	Рік введення	Викиди			
		HC+NO _x	NO _x	Частинки	
ЄВРО-V	2009	230	180	5	
ЄВРО-VI	2014	170	80	5	

На димність тракторних та комбайнових ДВЗ у України діє ГОСТ17.202-

98 [12]. У рамках діяльності щодо приєднання України до основних вимог до екологічності дизельних палив заплановано на 5-6 років. Використання біодизеля як моторне паливо регулюється в Україні за європейськими стандартами [1, 3, 21].

1.4 Вимоги до систем впорскування дизельних двигунів

Дизельні двигуни класифікуються за типом впорскування та камери згоряння, якими двигуни оснащуються. Існують два основних типи організації робочого процесу. Дизелі із розділеними камерами згоряння. Форсунки розпилюють паливо у допоміжну камеру, де відбувається сумішоутворення та початок горіння. А потім гази потрапляють до основної камери згоряння (далі - КЗ). Це пов'язано з тим, що насос високого тиску повинен у певний момент і протягом певного інтервалу часу витіснити в напрямку кожної форсунки точний об'єм палива через гідравлічну систему, оснащену напірним клапаном, штуцером та трубопроводом високого тиску. Щоб це зробити, необхідно виконати певні умови:

- Режим дозування повинен дуже точно відповідати потребам двигуна в залежності від навантаження. Він повинен бути строгорівний для кожного циліндра двигуна, впорскування повинен бути виконаний в дуже точний час;

- впорскування повинно відбуватися протягом дуже короткого проміжку часу і без наступного витіску;

- точність обробки деталей насоса, включаючи поршні та циліндри, повинна бути дуже високою;

- миттєвий тиск може досягати дуже високого значення > 100 МПа;

- кількість палива у циліндрі сильно змінюється залежно від типу двигуна.

Однак гарне розпилювання палива залишається ключовим кроком для досягнення якісного згоряння як у звичайних дизельних двигунах, так і у більш складних агрегатах. Характеристики палива (в першу чергу його ЦЧ, в'язкість, поверхневий натяг, температура пароутворення, напруженість пари іт.) значно змінюють характеристики струменя: кут розпилювання та глибину проникнення, які є добрими показниками інтенсифікації сумішоутворення в

передкамері. Зміни у фізико-хімічних властивостях палива призводять до зміни динаміки сумішоутворення та, відповідно, часу самозаймання.

Інші властивості палив, такі як швидкість поширення хвилі, важливі, оскільки вони безпосередньо впливають на час, необхідний для встановлення тиску в лінії високого тиску, обсягу палива, який повинен циркулювати вздовж лінії упрскування до сопла форсунки.

1.5 Підвищення ефективності використання альтернативних палив для дизельних двигунів

1.5.1 Види альтернативних палив для дизельних двигунів та особливості їх застосування

В даний час паливно-енергетичні та екологічні проблеми є найбільш актуальними та глобальними. Вони пов'язані з нестачею та подорожчанням викопних енергоресурсів. Саме вичерпання останніх за умови їх неефективного використання та погіршення якості довкілля є найважливішими складовими сучасної паливно-енергетичної кризи [69].

Перспективними АВП є для України, країн ЄС та США природний газ, синтетичні моторні палива (СМП), у тому числі спиртові, водень, які можуть використовуватися як основне паливо, так і як високоефективні добавки до горючих сумішей або необхідних компонентів при виробництві СМП.

Економічний аналіз паливно-ресурсної проблеми дає змогу прогнозувати необхідність ефективного споживання нафти. Наприклад, для країн Європи, включаючи Україну, природний газ має відносно низьку енергетичну вартість (приблизно вдвічі нижча за вартість сучасних бензинів). Виходячи з оцінки наявних запасів та вартості природного газу, його слід розглядати на найближчі десятиліття як найбільш перспективне паливо для автомобільного транспорту, що особливо експлуатується у великих містах [47, 48].

Питома вартість виробництва СМП за традиційними технологіями поки вища за енергетичну вартість природного газу. У понад 60 країнах світу на природному газі працює приблизно 10 млн. автомобілів. Світовим лідером є Аргентина (понад 1 млн. автомобілів на природному газі). Щорічне споживання природного газу такою кількістю машин потребує підвищення його запасів у

цих країнах (за сучасного рівня споживання). За оцінками, природного газу вистачить приблизно на 60 років [47].

Особливість газоподібних палив, таких як, диметиловий ефір, природний та нафтовий попутний газ, біогази, водень, аміак, ацетилен і т.д. полягає в тому, що вони знаходяться в одному агрегатному стані з окислювачем – повітрям. Це полегшує організацію процесу сумішоутворення, дозволяє отримати гомогенну паливоповітряну суміш, забезпечити її повне згоряння, високі економічні та екологічні показники двигуна, але при переведенні дизельних двигунів на газ подібні палива, в їх конструкцію, як правило, необхідно внести конструктивні зміни.

Найбільшого поширення як газового палива на транспорті набув скраплений нафтовий газ. Пропан-бутанові суміші широко застосовуються на легкових та вантажних автомобілях, оснащених бензиновими двигунами, використання цього виду палива в дизелях стримується поганим samozайманням у циліндрах двигуна [47, 151].

Властивості диметилового ефіру як моторного палива відрізняються від властивостей ДП. З урахуванням нижчої щільності та теплотворної здатності для збереження потужності дизеля необхідно збільшити в 1,7-1,9 рази об'ємну циклову подачу ефіру. Для підвищення ефективності використання цього типу палива в двигуні з'являється необхідність коригування процесу паливоподачі, як щодо збільшення циклової порції, так і по моменту початку подачі – куту випередження впорскування (КВВ). Для ефективної роботи дизеля на ефірі необхідно знову проводити оптимізацію робочого процесу. Але і в цьому випадку створення універсального двопаливного дизеля на базі існуючих технічних рішень все ж таки залишається проблематичним.

Останні 10-15 років вивчалися можливості застосування етанолу та метанолу як паливо у двигунах внутрішнього згоряння. Позитивною якістю цих палив є можливість їх отримання з будь-якої вуглеводневої сировини, у тому числі з відновлюваних джерел енергії (біомаси, відходи сільськогосподарської діяльності та ін.). Залучає і наявність у складі цих речовин кисню, що дозволяє значно покращити показники двигунів, які працюють на цих альтернативних

паливах

На всіх режимах КВВ спирту на 5-15° менше КВВ дизельного палива. На режимах повного навантаження заміна дизельного палива метанолом або етанолом з коригуванням характеристик паливоподачі не призводить до помітної зміни потужних та економічних показників. Для покращення показників дизеля з комбінованою системою паливоподачі використовують дві форсунки, встановлені в головці циліндрів. Щоб двигун отримав кількість енергії, еквівалентну одержуваній від дизельного палива, кількість палива, що подається для метилового спирту має бути в 2,3 рази більше, а для етилового спирту - в 1,7 рази більше. Для запобігання падінню потужності двигуна через меншу вагову подачу спирту, викликану в основному його меншою щільністю, коригують паливоподачу.

Газовий конденсат (ГК) - це один із видів палива широкого фракційного складу, придатний для застосування в дизелях. Конденсати ділять на дві групи: легкі та важкі, що визначається родовищем палива. Для підвищення ефективності використання ГК потрібно визначення оптимального кута випередження подачі дизельного палива, при збагаченні повітрям, що всмоктується, газовим конденсатом. ГК широкого фракційного складу, або конденсат, близький до бензинових фракцій, може бути використаний як ДП з додатковими регулюваннями паливної апаратури (за типом багатопаливного двигуна). В результаті досліджень встановлено, що переведення дизеля з ДП на ГК середнього складу, максимальний тиск упорскування знижується, тривалість упорскування збільшується. За збереження постійної циклової подачі спостерігається запізнення початку впорскування з допомогою більшої стисливості ДК. Щоб усунути ці недоліки, необхідно змінювати регулювання паливної апаратури та вдосконалювати форсунки в залежності від виду ГК.

Однією з можливостей, здатних якісно змінити ситуацію, що склалася у світовій транспортній енергетиці, у багатьох країнах світу вважається перехід до альтернативних палив з рослинної сировини. Роботи щодо розвитку такої альтернативної енергетики нині ведуться по різних напрямкам залежно від країни. Провідними світовими автомобільними фірмами (Honda, Toyota,

General Motors та ін.) створені та випробовуються експериментальні моделі автомобілів на гібридних енергетичних установках, у тому числі, для біопалив на основі рослинної сировини та продуктів її переробки зі спиртами, ефірами та іншими альтернативними паливами, багатоконпонентні суміші, водопаливні емульсії, продукти утилізації відпрацьованих мастильних матеріалів, палива тваринного походження (тварини, риба, жир, біогази та інші). Альтернативне паливо на основі олії може вироблятися більш ніж з 50 сільськогосподарських культур [33, 34]. Для його отримання використовуються олії: соняшникова, рапсова, соєва, бавовняна, арахісова, пальмова та інші.

Вибір сільськогосподарської культури індивідуальний кожному за регіоном і визначається міркуваннями доступності сировини для біодизеля, ефективності використання на автотранспорті, впливу економічний розвиток країн. Ця обставина вказує шлях розвитку енергетики майбутнього, особливо регіональної та локальної.

1.5.2 Вплив чистих рослинних олій на двигун

Спочатку дизельні двигуни були розроблені для роботи на арахісовій олії. Однак рослинні олії мають термофізичні характеристики, які не підходять для сучасних дизельних двигунів, що мають в основному пряме упорскування. У рослинних олій:

- висока в'язкість;
- висока температура плавлення;
- низька ЦЧ;
- погані фізико-технічні характеристики у холодному стані.

Експерименти також показали зниження показників роботи дизельних двигунів через помітні відкладення на форсунках, поршнях та інших деталях двигуна при роботі на рослинних оліях. Тому для досягнення потрібних властивостей необхідна трансформація олії.

Наприклад, для сучасного дизельного двигуна безпосереднє використання чистої рапсової олії призводить до наступних результатів:

- удвічі збільшується емісія CO₂;
- викиди сумарних вуглеводнів збільшуються вчетверо;

викиди сумарних оксидів азоту NO_x скорочуються приблизно 25%, що зумовлено нижчою температурою згоряння; Значно (до 140%) збільшується кількість твердих частинок (ТЧ) в ОГ, альдегідах та кетонах - на 30-330%.

Водночас використання передкамерного згоряння дозволяє скоротити викиди, а також підвищити ефективні показники двигуна.

1.5.3 Вплив алкілових ефірів на показники дизельних двигунів

Алкілові ефіри мають характеристики, близькі до характеристик ДТ (таблиця 1.3). У разі метилових ефірів їх ЦЧ можна порівняти з цетановими числами нафтових ДП та відповідають європейським та російським паливним стандартам.

Таблиця 1.3

Характеристики метилових ефірів олії [22]

Характеристика	МЕ ріпакової олії	МЕ соєвої олії	МЕ соняшникової олії	МЕ пальмової олії	EX14214 специфікація
Цетанове число	50	48,1	49	54	>51
Йодна кількість	111	133	134	45	<120
Крапка застигання, 0С	-9	-3	-7	-13	

Цетанове число - це одновимірне число, яке характеризує здатність палива швидко спалахувати після досягнення температури самозаймання. Для забезпечення плавного ходу горіння в дизельному двигуні (помірна теплова і механічна напруга, модерований шум) потрібна висока ЦЧ.

Як правило, чим вище ЦЧ, тим краща якість займання палива, і навпаки. ЦЧ чистого палива залежить з його структури. ЦЧ суміщевого палива залежить від характеру компонентів суміші. ЦЧ збільшується із довжиною ланцюга молекули палива, і навіть зі збільшенням насиченості молекулярної ланцюга.

З'єднання, виявлені в біодизелі, такі як метилпальмітат і метилстеарат, мають високу ЦЧ (85,9 і 101, відповідно) [226], у той час, як метилнальденат має дуже низьку ЦЧ - 27,2. Скорочення викидів NO_x пов'язані з збільшенням

ЦЧ. Крім високих ЦЧ МЕРО, добре змішуються з нафтовим дизельним паливом. Випробування на зношування показали, що використання 2-5% об'ємних метилового ефіру ріпакової олії як добавки до дизельного палива значно знижує знос металевих компонентів, що безпосередньо контактують з паливом.

Сумішне паливо, що містить 5% об'ємних часток МЕРО розподіляється нормально, а добавка 30% об'ємних МЕРО розподіляється на певних прив'язаних флотах.

Характеристики ефірів у холодному стані зазвичай наближаються до характеристик дизельного палива, але стають нижчими у зимовий період.

Наприклад, їх нижча теплотворна здатність призводить до збільшення об'ємного витрати МЕРО порівняно з ДП для одного і того ж пробігу. Однак використання 5% МЕРО як добавка не вимагає змін у конструкції двигуна.

Дослідження, проведені [36], показали, що такий склад паливної суміші не впливає на характеристики спалювання та вловлювання, на поведінку тяги та на роботу системи після їх регулювання.

Незважаючи на хорошу матрицю, узгодженість продуктів та матеріалів, було відзначено збільшення витрати палива в діапазоні 0,3%. Можна також відзначити, що МЕРО покращує змащувальну здатність десульфованих ДП.

Також вони позитивно впливають на склад ВГ, викиди твердих частинок (РЧ), незгорілих вуглеводнів та вуглекислого газу. У викидах не містяться оксиди сірки та ароматичні речовини. З іншого боку, вища температура горіння сприяє збільшенню емісії оксидів азоту.

Загалом використання МЕРО сприяє скороченню викидів парникових газів. Але в порівнянні з ЕЕРО їх вплив на навколишнє середовище значніший, і РМ, а також на розкладність у воді.

Сумішне паливо, що містить по 50% дизельного палива та ЕЕРО порівняно зі стандартним ДП показало скорочення викидів на 1,2% для NO_x, 1,8% для CO,

Складні метилові ефіри жирних кислот мають нестабільні властивості при зберіганні. Як усі олії та жири, вони повільно окислюються у присутності кисню повітря. Склад паливних сумішей змінюється непередбачуваним чином.

Утворюються при цьому кислоти і корозійні відкладення можуть пошкодити

насос палива і систему впорскування двигуна. Тому стійкість біодизелів до окислення є важливим критерієм їхньої якості і має визначатися на регулярній основі. Процес окислення може бути відкладений шляхом додавання антиоксидантів. Дослідження, проведені на різних сумішах метилових ефірів жирних кислот канадським інститутом Шрепа1 (2009), показали, що додавання таких речовин, як тетрабутилгідроксидон, суміш карболової кислоти та стеричних амінів, дає обмежену можливість стабілізації сумішевих палив при зберіганні [51, 53].

1.6 Аналіз можливості використання рослинних олій, включаючи пальмове, як альтернативного палива для дизельних двигунів

Для Африки та ряду країн, розташованих у тропічній кліматичній зоні, перспективними видами альтернативних палив є рослинні олії, особливо пальмова [14, 35].

Особливість пальмової олії – це наявність у його складі досить великої кількості кисню (8-12%). Це призводить до певного зниження теплоти згоряння. Так, нижча теплота згоряння становить 37,1 МДж/кг проти 42-43 МДж/кг у дизельних палив, що практично не містять кисню.

При роботі на рослинних оліях, а також на ефірах цих олій у чистому вигляді, так і на суміші з ДП є необхідність адаптувати апаратуру палива і двигун в цілому до цього виду палива. Значний вплив на характеристики розпилування палива має коефіцієнт поверхневого натягу. Рослинні олії мають поверхневий натяг більше, ніж у ДП. При нормальних атмосферних умовах ($t=20^{\circ}\text{C}$, $P=0,1\text{МПа}$) коефіцієнт поверхневого натягу ДП рівний $\sigma=27,1\text{ Мн/м}$, ріпакової олії $\sigma=33,2\text{ Мн/м}$.

Зазначені особливості фізичних властивостей рослинних олій та палив на їх основі (високі щільність та в'язкість) є причиною збільшення їх циклової подачі та годинного витрати в порівнянні з ДП.

Збільшення довжини струменя біопалив, що розпилюється, посилюється їх гіршою самозаймистістю (збільшенням періоду затримки займання).

Іншою проблемою є погіршення якості процесу сумішоутворення. Це зумовлено параметрами фізико-технічних властивостей олій, перелічених вище.

Ці проблеми характерні і для пальмового олії як сировини для біодизеля. Для поліпшення якості сумішоутворення під час роботи на біопаливах пропонується використовувати різні конструктивні зміни у системі впорскування дизельного двигуна [2, 17].

В принципі, можливість використання альтернативних палив як ДП відома давно. Труднощі використання альтернативних палив для дизелів пов'язані з їх різною щільністю. Це призводить до збільшення або зменшення періоду затримки займання. При збільшенні затримки займання збільшується швидкість наростання тиску (жорсткість роботи дизеля). Існує багато способів регулювання паливної апаратури під час роботи дизеля на нетрадиційних паливах. Насамперед, збільшують чи зменшують хід рейки та, відповідно, об'єму циклової подачу, обумовлену значенням щільності та в'язкості палива порівняно з дизельним паливом. Крім того, відповідно змінюється і кут випередження впорскування палива. Це дозволяє коригувати довжину та ширину струменя.

Для досягнення найкращої подачі біопалива на основі олії в КЗ і підвищення ресурсів двигуна необхідно усувати недоліки рослинних олій, що обумовлюють в'язкість.

Одним із шляхів є зміна показника поверхневого натягу олій, тобто отримання палива з властивостями, повністю відмінними від властивостей вихідної сировини в ході хімічної переробки - переестерифікації [33, 44, 58, або так зване отримання біодизельного палива. Слід зазначити, що технологія виробництва біодизельного палива з пальмової олії шляхом переестерифікації досить складна та затратна. Необхідне спеціальне дороге обладнання, реагент (метиловий спирт і луг) та висококваліфіковані кадри.

Другим, більш доступним і простим способом використання пальмової олії є розведення дизельним паливом. Сумішне дизельне паливо за фізико-технічними показниками займає проміжне положення між олією, ДП і МЕРО [33, 34, 36, 64].

До факторів ефективності використання сумішевого ДП в АПК слід віднести:

НУВБІП УКРАЇНИ

- поновлюваність;
- екологічність (викиди скорочуються: оксидів азоту на 15-20%, сажі на 30-35%, оксидів вуглецю на 10-15%) [33];

- економія ДП;
- підвищення мастильних властивостей палива;

НУВБІП УКРАЇНИ

- використання палива без конструктивних змін двигуна;
- підвищення ресурсу двигуна;
- підтримка аграрного сектора;
- використання та отримання економії при внутрішньогосподарському

НУВБІП УКРАЇНИ

способі виробництва.

Недоліками сумішевого палива є:

- підвищена в'язкість та коксування;
- засмічення паливних фільтрів;
- незначна втрата потужності (до 10%);
- підвищена питома витрата палива (на 7-11%);
- агресивність до гумових деталей;
- розшарування на вихідні складові.

НУВБІП УКРАЇНИ

Таким чином, для широкого використання сумішшового ДТ необхідно

НУВБІП УКРАЇНИ

усунути існуючі недоліки, що стримують його використання.

Незважаючи на великий досвід конвертації дизелів для перекладу на біопаливо загалом визнано, що кожен новий тип двигуна, що піддається такій конвертації, повинен бути випробуваний з метою перевірки ефективних, економічних та екологічних показників та виявлення можливих проблем.

НУВБІП УКРАЇНИ

Багато дослідників аналізували вплив фізико-хімічних показників біодизеля на параметри та еколого-експлуатаційні характеристики дизеля транспортних засобів. На думку експертів, підвищення порівняно з ДП щільності на 10% та кінематичної в'язкості в 1,5 рази сприяє збільшенню на

НУВБІП УКРАЇНИ

14% далекобійності паливного факела та зростанню діаметра крапель розпиленого палива, що може призвести до поліпшення потрапляння біодизеля на стінки КС та гільзи циліндра. Менший коефіцієнт етисивності біодизеля

забезпечує збільшення кута випередження впорскування палива та

максимального тиску у форсунці. Висока ЦЧ сприяє скороченню періоду затримки займання та менш жорсткій роботі дизеля. Підвищена температура спалаху в закритому тиглі (120°C і більше) забезпечує високу пожежну безпеку.

Семенов В.Г., 2007, ZiejwskietKaufman (1983), Elsbell(1983), показали наявність у молекулах біодизельних палив на основі рослинних олій кисню (~8-12%)

дозволяє інтенсифікувати процес згорання та забезпечити більш високу температуру в циліндрі дизеля, що, з одного боку, сприяє підвищенню індикаторного та ефективного ККД двигуна, а з іншого - призводить до

збільшення оксиду азоту NO_x у відпрацьованих газах. Найменша частка

вуглецю (77%) у молекулі біодизеля призводить до зменшення на 13-15% його нижчої теплоти згорання та підвищення часового та питомого ефективного витрат палива.

Для збереження номінальних параметрів двигуна при переведенні на

біодизель потрібне регулювання паливної апаратури збільшення циклової подачі палива. При експлуатації дизелів на біодизельному паливі необхідно перед початком роботи промити фільтри грубої та тонкої очистки палива. Через підвищену агресивність останнього потрібно змінити паливні шланги і

прокладки на стійкі до біопалива, а також ретельно видалити паливо, що потрапило на лакофарбові покриття. У деяких випадках потрібна більш часта зміна моторного олії через можливе розрідження біодизелем, що потрапляє в нього.

При цьому швидкість формування паливно-повітряної суміші визначається як тонкістю розпилювання, так і інтенсивністю його випаровування та дифузії у стиснене повітря. Для досягнення необхідної якості процесу сумішоутворення паливо повинно мати заданий фракційний склад, це один з найважливіших показників експлуатаційних властивостей палив для двигунів внутрішнього згорання.

1.7 Екологічні проблеми при використанні пальмової олії як палива для дизельних двигунів

Дизельні двигуни відіграють істотну роль забруднення навколишнього середовища. У великих містах є одним із головних джерел токсичних речовин,

що викидаються в атмосферу.

Оцінюючи темпи розвитку світового та регіонального парку транспортних засобів, слід зазначити, що доцільність використання нетрадиційних палив у транспортних системах різних регіонів світу стає очевидною.

В даний час в атмосферу щорічно викидається понад 25 млн. тон вуглекислого газу, а до 2030 року щорічні викиди CO_2 в атмосферу досягнуть 35 млн. тон. Відомо, що при підвищенні кількості вуглекислого газу в атмосфері створюється парниковий ефект, що веде до так званого теплового забруднення навколишнього середовища.

З погляду зниження парникового ефекту важливим чинником є невідновлюваність запасів нафти, газу та інших з корисними копалинами.

При використанні палив із сировини рослинного походження досягається кругообіг вуглекислого газу та кисню в атмосфері, оскільки при згорянні палив рослинного походження виділяється приблизно така кількість CO_2 , яка була спожита з атмосфери рослинами за період їхнього життя.

Використання біопалив дозволяє не тільки забезпечити кругообіг вуглекислого газу і кисню в атмосфері, але і зменшити викиди в атмосферу з

В двигунів внутрішнього згорання основних токсичних компонентів - монооксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CH_x і твердих частинок на величину.

Важливий аспект використання біопалив - можливість помітного покращення екологічних характеристик, як самих палив, так і двигунів, у яких вони спалюються. Застосування біодизельного палива дозволяє знизити викиди шкідливих речовин із відпрацьованими газами. Для дизелів з вихровою камерою (передкамерою) та безпосереднім упрорскуванням зниження CO становить: CO – 12(10) %, CH_x – 35 (10) % PO (тверді частинки) – 36 (24) %, сажа – 50 (52) %). Деякі збільшення викидів NO_x можна компенсувати зменшенням дійсного КВВ палива, рециркуляцією газів, що відпрацьовали, подачею води на впуску [3387].

Можливе деяке збільшення шуму та димності при холодному пуску, при

знижених температурах. Потрібно застосування депресорних присадок. Необхідно контролювати вміст води в біодизелі (через його велику гігроскопічності), щоб уникнути небезпеки розвитку мікроорганізмів, утворення перекисів та корозійного впливу води, в тому числі і на елементи паливної апаратури.

Деякі дослідники пишуть, що біопалива, призначені для використання в дизельних двигунах, повинні за мінімальний період сформувати в КЗ паливно-повітряну суміш, що забезпечує легке займання, плавне і досить повне згоряння з мінімальним вмістом РМ, токсичних та канцерогенних речовин у ВГ.

Біодизелі по характеристиці мають такі властивості:

біорозкладність, нетоксичність, вони не забруднюють навколишнє середовище, мають високу точку спалаху і добре змішуються з дизельними паливами, їх характеристики, їх характеристики відповідають характеристикам нафтового ДП.

Висновки та завдання досліджень

Проведений аналіз наявних на сьогоднішній день досліджень сумішевих палив з використанням рослинних олій дозволяє зробити такі висновки:

1. ПО та його суміші з ДП як паливо для дизелів є хорошими кандидатами на роль відновлюваного енерго ресурсу дизельних двигунів автомобілів у АПК.
2. Насамперед це пов'язано з економічними перевагами, особливо для тих країн, в яких ПО виробляється удосталь.
3. Застосування дизельного палива з додаванням ПО також не вимагає великої модифікації конструкції дизельних двигунів.
4. Застосування сумішевого палива з додаванням ПО сприяє поліпшенню екологічних показників двигуна.

Таким чином, можна припустити, що вже за кілька років пріоритетом для забезпечення енергоносіями стане моторне паливо рослинного походження. ПО є перспективним як відновлюваного палива, як з технічних, і з економічних причин за умов світового ринку. У країнах, де воно удосталь, воно послужить одним із катализаторів розвитку економіки.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ З ДОДАВАННЯМ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ

Нафтове ДП і ПО добре поєднуються, що сприятливо позначається на можливості використання таких сумішей як паливо для дизелів. Однак при цьому необхідно враховувати існуючі відмінності у фізичних властивостях сумішевого та дизельного палив.

Рослинна олія більш в'язка, має велику щільність. Це сприяє збільшенню діаметра крапель розпорошеного в КЗ палива та підвищенню далекобійності паливного факела. Ця обставина може призвести до збільшення кількості палива, що потрапляє на стінки КЗ [15].

Найменше значення коефіцієнта стисливості ПО може викликати зміну динаміки процесу подачі палива в паливній системі і, наприклад, збільшення дійсного кута випередження впорскування палива, тобто більш раннє впорскування палива, збільшення максимального тиску впорскування. Все це ускладнює процеси сумішоутворення та згоряння палива.

При розрахунку процесу подачі палива, у тому числі і сумішевого, необхідно враховувати його стисливість залежно від тиску, густини та інших параметрів.

Оцінити ступінь впливу вмісту ПО у сумішевому паливі на показники процесу подачі палива (величина циклової подачі, тиск і тривалість впорскування та інші) при переході роботи дизеля з ДП на сумішкове без оцінки стисливості ПО та його сумішей неможливо.

Через фізико-хімічні параметри та експлуатаційні властивості ПО та його суміші вимагають певної конструкції системи живлення, змін у технології експлуатації двигуна. Ці параметри та властивості впливають на багато інших складових загального процесу технічної експлуатації автотранспорту та суміжних з ним напрямків.

Переведення транспортних засобів на сумішкове паливо викликає не лише зміну конструкції двигунів, а й необхідність проведення комплексних заходів, пов'язаних з особливостями таких транспортних засобів (ремонт, зберігання, пристосування ПТП, паливopостачання, підготовка персоналу та спеціалістів

для виконання необхідних робіт). Значна частина цих заходів є завданнями технічної експлуатації та потребує забезпечення додатковими матеріальними засобами.

2.1. Виробничі, економічні та соціальні передумови використання пальмової олії як паливо для дизельних двигунів

Попит на нафту у світі продовжує зростати, з цим пов'язані екологічні проблеми. Тим часом, на тлі виснаження невідновлюваних природних енергоресурсів стає дуже важливим енергозбереження та застосування альтернативних палив. Це також актуально як з точки зору відповідності дизелів сучасним екологічним вимогам, так і з погляду можливості розвитку економіки країн-виробників альтернативних палив, у т. ч. ПЮ.

З цього випливає, що вже за кілька років пріоритетом для забезпечення енергоносіями стане моторне паливо рослинного походження. ПЮ є перспективним як відновлюваного палива серед рослинних палив, як з технічних, і з економічних причин за умов світового ринку. У країнах, де воно перебуває у достатній кількості, воно послужить одним із каталізаторів розвитку економіки.

З чотирьох видів рослинної олії (пальмова, соєва, рапсова, соняшникова), які конкурують на світовому ринку як основа сировини для отримання моторних палив рослинного походження, ПЮ є найбільш перспективним та привабливим. Його виробництво протягом останніх 10 років помітно зросло у сільськогосподарському секторі. У перспективі можливе 12-кратне збільшення виробництва, порівняно з існуючим [26, 30].

Серед основних видів олій для отримання дизельних моторних палив ПЮ несе в собі велику кількість переваг – екологічних і економічних: має гарні змащувальні властивості, його ціна на ринку низька, виробництво і вирощування культури у тропічних регіонах досить легкі.

Пальмова олія є олією, одержуваною з м'ясистої частини плодів олійної пальми. Олія з насіння - плодів пальми називається пальмоядровим маслом. Плод (пульпа) олійної пальми містить від 40% до 50% пальмової олії та 20% волокна. Ядро плоду пальми містить близько 63% олії. Відсоток вмісту олії

залежить від сорту олійної пальми. Рід дерев *Elaeis* сімейства пальмові (*Arecaceae*), складається з трьох видів:

1) *Elaeis guineensis* Jacq - олійна пальма, або Африканська олійна пальма; родом з Африки, натуралізована в Азії з тропічним кліматом (Шрі Ланка, Індія, Малайзія), а також на острові Мадагаскарі;

2) *Elaeis Oleifera* Cortes - Американська олійна пальма - вид, що росте в Південній Америці;

3) їхній гібрид *Tenera* (Т), відрізняється високою врожайністю.

Родом із Африки, олійна пальма вирощується в Малайзії (44%), Індонезії (36%), Таїланді та інших країнах Азії. В Африці рослина культивується в Нігерії (6%), Кот-д'Івуарі, Камеруні (1%), Беніні, Гані.

(1%) та ДР Конго (1%). У Центральній та Південній Америці – у Колумбії (2%), Аргентині, Бразилії, Еквадорі (1%) [74, 75, 227, 240].

У цих країнах переважають задовільні погодно-кліматичні умови для вирощування олійних культур, зокрема олійної пальми. Таким чином, у країнах зі сприятливим кліматом, наприклад, в Індонезії, Малайзії, Аргентині та Нігерії обсяг виробництва ПО значно вищий за рівень його споживання. Температура повітря у цій зоні змінюється від 24°C до 28°C. Багато дощів на рік (1500-3000 мм), довга дощова погода щонайменше 3 місяців.

У Малайзії та Індонезії, де умови вирощування олійної пальми є ідеальними, *Elaeis Guineensis* може виробляти 10-35 т плодів з гектара. У деяких тропічних регіонах Азії продуктивність зрілої пальми може досягати 45 тон плодів з гектара на рік. У тропічних країнах, де холодніше, порівняно з іншими країнами, у Кенії, наприклад, урожайність олійної пальми виду *Tenera* (Тенера) вища, але цей вид виробляє дуже мало плодів порівняно з іншими (4 т/га на рік), проте добре адаптований до місцевих кліматичних умов [37, 228].

Пальмові дерева починають плодоносити після 5-6 років і продовжують давати плоди протягом наступних 20 років. Кількість олії, що отримується з плодів, становить 3,0-4,5 т/га, крім цього додатково з ядер отримують 0,45-3,0 т/га олії.

Збір ПО на 1га майже в 10 разів вищий, ніж соєвий. Більшість олійних

культури є однорічними, збирання врожаю носить сезонний характер. Пальма плодоносить багато років, даючи два врожаї на рік.

Середній урожай олійних пальм в Індонезії з гектара: - 3,2 тони олії, 0,4 тони ядрової олії та 0,42 тони макухи.

ПО допомагає розвитку багатьох секторів сільського господарства та промисловості, захисту лісів, зокрема, шляхом збереження лісів у річкових районах та на крутих схилах, або шляхом встановлення бічних оадастей лісів високої природоохоронної цінності та біорізноманіття.

До складу ПО входять одинадцять жирних кислот, серед яких найбільш представницькими є пальмітинова (в середньому на 40%), олеїнова (38%), лінолева (10%), стеаринова (4%). Температура застосування ПО становить 260-300°C, йодне число - 57, щільність за 21°C - 898 кг/м³, динамічна в'язкість за 21°C - 88,6 спз, теплота згоряння - 39,54 МДж/кг.

Але місце походження може впливати на склад та властивості сировини. Це було помічено в одній з лабораторій США в 1932 [228], де були проаналізовані два види ПО з різних регіонів походження. Один - із Суматри (Індонезія), а інший - із Нігерії (Африка). Перший вид олії показав вміст 6% вільних жирних кислот, йодне число знаходилося між 10 і 18, щільність 913 кг/м³, вміст води 1,7%. Другий вид (нігерійський) містив 45% вільних жирних кислот і додаткові компоненти по відношенню до суматранського зразку: гліцериди, ліноленову та лінолеву кислоти, йодне число виявилось між 126 і 134, щільність 905 кг/м³ та вміст води 1,5%.

У тропічних областях Африки, Південної Америки та Азії ці рослини показують гарну врожайність, що дозволяє місцевому населенню обробляти культуру олійної пальми, створювати корпорації та інвестувати у посівні площі, розвивати сільськогосподарське виробництво. При цьому населення одержує підтримку держави.

Світове виробництво ПО на період 2010-2011 років становило 47,9 млн. т, у якому Індонезія виробляла 49%, Малайзія - 38%, Тайланд - 2,5%, Нігерія - 1,8%, Колумбія - 1,5%.

Світове виробництво ПО на період 2010-2011 років становило 47,9 млн.

т, у якому Індонезія виробляла 49%, Малайзія - 38%, Тайланд - 2,5%, Нігерія - 1,8%, Колумбія - 1,5%.

Загальне світове виробництво пальмової олії у 2018-2019 роках оцінювалося Міністерством сільського господарства США у 73,9 млн. тон.

Прогнозується, що це число зросте до 75,7 млн. тон у 2019-30 роках [112].

Також очікується зростання попиту на ПО для виробництва біодизелю – до 17,5 млн. тон, і перевищить рівень 2018 р. При цьому обсяг використання ПО у біодизельній промисловості Індонезії за рік збільшиться з 5,37 млн. тон до 8,1 млн. тон, у країнах ЄС – з 4,05 до 4,1 млн. тон, у Малайзії – з 1,09 до 1,32 млн. тон [37, 208].

У структурі світового споживання рослинної олії ПО домінує на ринку промислової олії як головна олійна сировина з тропічних країн, також як ріпакова та соняшникова олії домінують на ринку олії в Європі, а соєва олія та тваринні жири в США.

У прогнозах на 2035 р. ПО розглядається як найбільш перенективна сировина. Для розвитку біоенергетики і викликає інтерес як високоенергетичний компонент, який здатний компенсувати попит на основну сировину з виробництва біодизельного палива в країнах Євросоюзу та у світі, коли ріпакова, соєва та соняшникова олії недостатньо задовольнятимуть попит при виробництві біодизельного палива на світовому ринку. В тому числі й у порівнянні цін на різні види олії (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1.

Порівняльна вартість виробництва різних видів олії

Олія	Вартість (долар/т)	Країна/регіон
Пальмова	228	Малайзія
Соєва	400	США
Ріпакова	648	Канада
Ріпакова	900	Європа
Соняшникова	435	Україна

З точки зору економіки, ПО є більш вигідним для промисловості, так як вимагає менше витрат енергії та праці для отримання однієї тони олії, порівняно з такими сільськогосподарськими культурами, як соя та ріпак.

По-перше, олійна пальма вирощується з комерційних причин –

виробництва харчової олії. По-друге, вона є найбільш продуктивним джерелом технічних олій. Відмінністю вилучення від оливкового, кокосового є те, що ПО витягується як з м'якоті плодів, так і з насіння. Всі олійні дерева дають вищий урожай у відносно помірному кліматі.

Для застосування ПО як альтернативне паливо в чистому вигляді необхідно вирішення проблем, пов'язаних з його прокачуванням по паливній системі та розпилюванням, так як при температурі нижче 30 °С воно втрачає рухливість, тому доцільно використання ПО у сумішах з дизельним паливом

(ДП) або у вигляді складних ефірів, одержуваних при обробці цієї олії станолом або метанолом. Ці палива мають кращі характеристики плинності та розпилювання. Під час вилучення ПО має тенденцію втрачати якість при вільному контакті жирної кислоти з повітрям протягом перших двох годин.

Вміст олеїнової та лінолевої кислоти визначає ступінь кислотності та її схильність до окислення.

Деякі автори досліджень стверджують [6, 11], що використання ПО у чистому вигляді як паливо для дизелів підвищує відкладення коксу на розпилювачах форсунок та інших деталях КЗ. Збільшенню нагароутворення сприяє підвищена коксівність у КС.

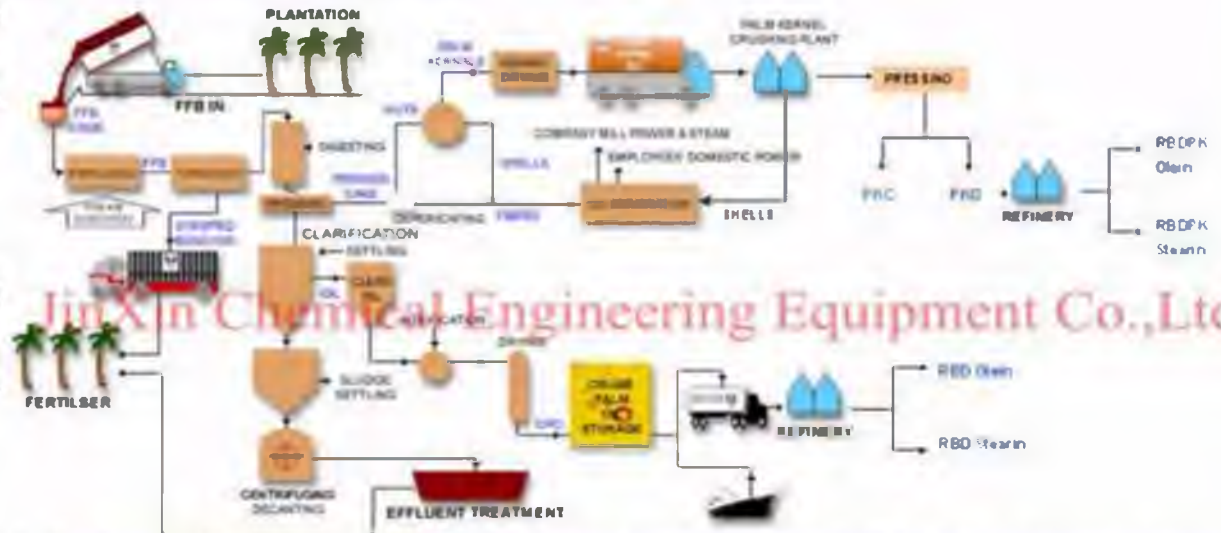
Недоліком ПО, що використовується як паливо для дизельних двигунів, є низька температура застигання, обумовлена головним чином наявністю в складі ненасичених жирних кислот.

Складний склад ПО є причиною відмінностей його фізико-хімічних властивостей із фізико-хімічними властивостями ДП. Відмінності фізичних властивостей ПО і палив на його основі від властивостей стандартних ДТ впливає на протікання робочих процесів дизельних двигунів. Насамперед це відноситься до процесів паливоподачі та сумішоутворення. Ці процеси значною мірою визначаються такими фізичними властивостями палива як щільність, в'язкість, стисливість,

поверхневий натяг [32, 33, 74, 119, 125, 152].

HA

Crude Palm Oil Milling Process



JinXin Chemical Engineering Equipment Co.,Ltd

Рис. 2. Схеми виробництва пальмової олії [23]

HA

HA

HA

HA

HA

Головна перевага ПО як біодизельного палива в тому, що його, як і будь-яке інше масло, можна змішувати з ДП у будь-якій пропорції та можна застосовувати у дизелях без радикальної зміни конструкції дизельного двигуна та інфраструктури.

Що стосується високої в'язкості ПО, її можна зменшити фізичними та хімічними способами переробки: змішуванням, створенням мікроемульсії, піролізу та трансетерифікації. Деякі роботи показують, що змішування 20-40% порції ПО із ДП дає хороші результати. Таке паливо впливає на ресурс двигуна меншою мірою [32, 33, 36, 44, 73, 119, 120, 125, 141, 156, 157, 158, 201, 202]. У літературі описано багато проведених досліджень, що аналізують продуктивність, займання цього виду палива (або суміші з ДП) та емісію дизелів при використанні ПС.

Всі автори робіт із застосування ПО та його сумішей з ДП показали, що у вихідному стані або у сумішевому вигляді, ПО як моторне паливо дозволяє зменшити емісію PO, CH, CO, CO₂ через високе значення ЦЧ і великого вмісту кисню в ньому. До недоліків використання ПО як моторне паливо слід віднести погану якість розпилювання, виявлення відкладень на компресійних кільцях та впускних клапанах та їх підвищений знос, що пов'язано з фізико-хімічними характеристиками ПО. Ці недоліки можна усунути шляхом застосування водопаливних емульсій, трансетерифікації ПО, деяких змін в конструкції

апаратури палива. Помітна також втрата потужності, збільшення питомої ефективною витрати палива в порівнянні з дизелем через низьку теплоту згоряння ПО, а також збільшення викидів NOx через вміст ПО 10-12% кисню (за масою) і більш раннього і інтенсивного займання через високого ЦЧ в порівнянні з ДП.

2.1 Планування та організація експериментального визначення фізичних характеристик (стабільність, щільність, поверхневий натяг, в'язкість, ЦЧ, коефіцієнт стискування) дизельних палив з різним вмістом пальмової олії

Для визначення фізичних властивостей ДП та його сумішей з ПО та оцінки їх впливу на показники процесу подачі палива було складено план експериментальних досліджень, що включає теоретичні, лабораторні та стендові експерименти (таблиця 2.1).

Таблиця 2.2

Загальний план та методи досліджень

	Теоретичні	Лабораторні	Стендові
Дослідження	1. Обґрунтування методів і методик виготовлення сумішевого палива. 2. Обґрунтування методів і методик визначення фізичних властивостей сумішевого палива з додаванням ПО.	1. Виготовлення паливних сумішей з ПО та ДП. Підготовка паливних сумішей 2. Визначення в'язкості, густини, поверхневого натягу, ЦЧ залежно від температури та композицій сумішевого дизельного палива з додаванням ПО.	1. Визначення коефіцієнта стисливості сумішевого палива залежно від композиції.

У лабораторних умовах готувалися паливні суміші ПО та нафтового ДП. Визначення властивостей кожного виду сумішевого палива повторювалося тричі кожному за приготовленого зразка. Отримані середні значення для сумішевого та ДП представлені у таблиці 2.4.

Щільність сумішевого палива визначалася за методикою визначення густини нафти та нафтопродуктів за ГОСТ 3900-85 «Методи визначення густини нафти та нафтопродуктів» [6, 24].

Визначення в'язкості паливної суміші залежно від її температури та

композиції, сирого ПО та нафтового ДП проводилися при температурах 50°C, 60°C, 75°C, 100°C за ГОСТ 1929/87 «Нафтопродукти. Методи визначення динамічної в'язкості на ротаційному віскозиметрі» [8, 24], відповідно до ASTM D44, ISO 3104 та іншими загальноприйнятими стандартами.

2.2 ПЧ паливних сумішей залежно від об'ємного вмісту пальмової олії визначалося стандартним методом за ГОСТ Р 52709-2007 на установці CFRF-5. Методика приготування паливних сумішей з пальмової олії та дизельного палива

Сире ПО, отримане способом пресування, придбали із-за кордону (в ДР Конго, Африка), у місцевих несертифікованих виробників. ДП було придбано у м. Києві на автозаправній станції.

ПО і ДП змішуються дуже добре, а для виключення стратифікації після змішування, особливо суміші біопалива рослинного походження і ДП, рекомендується наближати в'язкість цих двох компонентів, щоб отримане суміш паливо залишалася гомогенно з часом, і концентраційні межі його компонентів не змінювалися при зберіганні. Для цього ПО слід нагріти до 60-70°C, щоб знизилася його в'язкість по відношенню до в'язкості ДП. Необхідна кінематична в'язкість знаходиться в інтервалі від 3 до 8-9 сСт. Для отримання зразків гомогенних паливних сумішей ПО перемішувалося з ДП протягом 30 хвилин з дотриманням методики змішування рослинної олії та ДП відповідно до порядку роботи в лабораторних умовах для виготовлення сумішевого палива [23].

Кожен зразок підготовленої паливної суміші мав маркування із зазначенням кількості ПО 10, 20, 30, 40, 50, 60% об'ємних на один літр паливної суміші (рисунк 2.2).



Рис. 2.2 Пальмова олія, сумішеві палива (ПО) та дизельне паливо (ДП)

2.3 Стабільність дизельного палива з додаванням пальмової олії

Велике значення для практичного застосування має фізична стабільність дизельного палива з підвищеним об'ємним вмістом ПО в умовах тривалого зберігання.

У лабораторних умовах проводилися контрольні вимірювання стабільності паливної суміші кожні 24 години за температури зразків 20°C . За критерій стабільності приймався час до появи візуально спостережуваних змін (осаду, розшарування або відстою) у зразку. Для оцінки можливості тривалого зберігання проводилися систематичні спостереження за якістю (однорідністю) дослідного сумішевого палива з додаванням ПО, що зберігалося в лабораторії при температурі навколишнього середовища, що відповідає літньому сезону (22°C) і зимовому сезону (20°C).

Усього було 6 проб сумішевого палива відповідно до об'ємного вмісту ПО (№1 - ПО10, №2 - ПО20, №3 - ПО30, №4 - ПО40, №5 - ПО50, №6 - ПО60). Протягом тижня літнього сезону поява осаду (розшарування) виявлялася у пробі №6 (вміст ПО 60% об'ємних). Протягом тижня зимового сезону помітна поява осаду (розшарування) у пробах №5 (50% об'ємних ПО) та №6. Для проб №1, №2, №3, №4 можна сказати, що при зберіганні протягом тижня у приміщенні лабораторії з відповідними фізичними показниками довкілля, якість паливних сумішей практично не змінюється.

Таким чином, однорідність (стабільність) досліджених зразків сумішевого палива при зберіганні в експлуатаційних умовах вийшла задовільною.

Організації спеціальних умов зберігання для сумішей ДП та ПО із вмістом 10, 20, 30, 40% об'ємних ПО не потрібно.

2.4 Методика визначення щільності дизельного палива з додаванням пальмової олії

Вимірювання щільності зразків сумішевого палива, ДП та ПО проводилися за ГОСТ 3900-85. Метод заснований на визначенні відносної густини - відношення маси випробуваного продукту до маси води, взятої в тому ж обсязі і за тієї ж температури. Так як за одиницю маси приймають масу 1 см води при температурі 40С, то щільність, виражена в г/см, буде чисельно дорівнює щільності по відношенню до води при температурі 40С.

Пікнометр, підготовлений за ГОСТ 3900-85, зважували і заповнювали випробуваним продуктом за допомогою піпетки при температурі 18-200С, намагаючись не зачепити стінки пікнометра, не допускаючи виникнення бульбашок. Пікнометр закривали пробкою, занурювали до горловини в лазню з температурою 200С і витримували щонайменше 30 хв. Надлишок продукту з відбирали піпеткою або фільтрувальним папером. Рівень продукту пікнометрі встановлювали по верхньому краю меніска.

Пікнометр з випробуваним нафтопродуктом виймали з лазні, охолоджували при температурі, яка трохи нижче заданої температури, ретельно витирали зовні, видаляли статичне електрику і зважували. Результати вимірювань показані на малюнку 2.2.

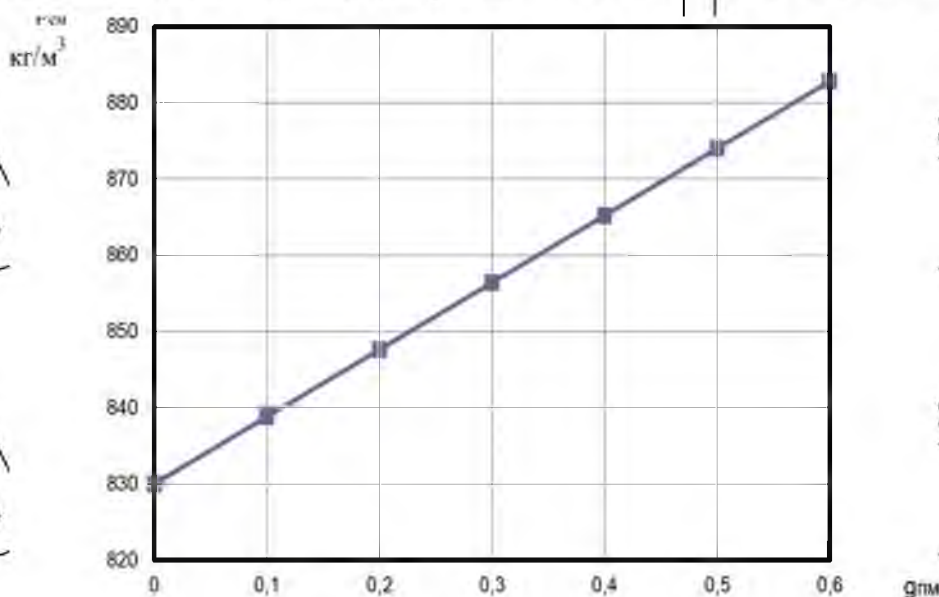


Рис. 2.3. Вплив складу сумішевого палива на щільність суміші рсм (кг/м³)

2.5 Методика визначення поверхневого натягу дизельного палива з додаванням пальмової олії

Для вимірювання поверхневого натягу використовувався метод визначення поверхневого натягу та адсорбції на кордоні рідина-газ за допомогою тензіометра DST-30 (рисунок 2.4). Визначення поверхневого натягу в тензіометрі DST-30 ґрунтується на методі відриву кільця. Даний метод досить зручний, точний і простий, проте при його використанні необхідно дотримуватись ряд умов [60]. У роботі використовувалися готові суміші ПІО та ДП із вмістом ПІО від 0,1 до 0,6 об'ємних часток.

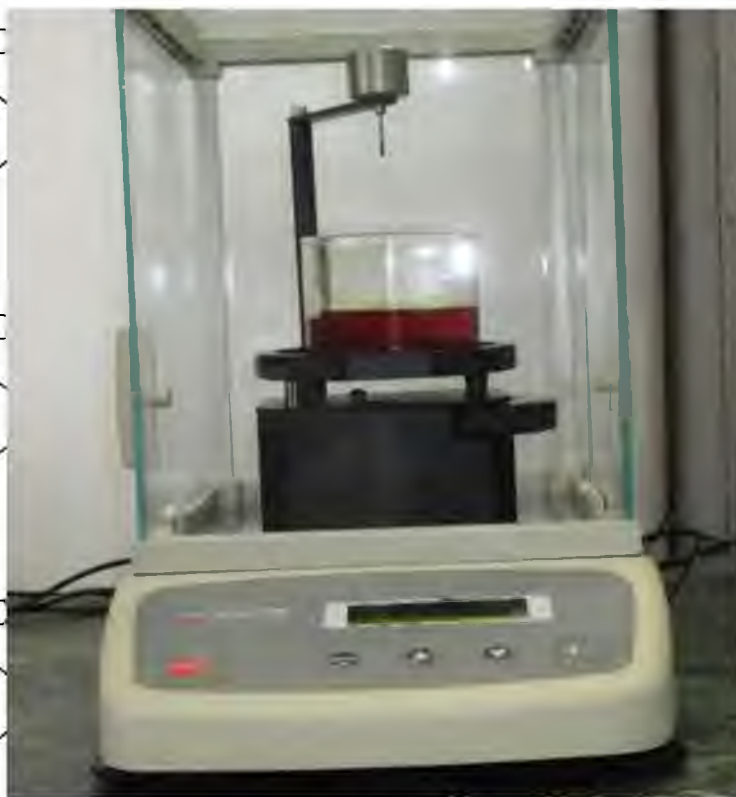


Рис. 2.3 Тензіометр DST-30

Вимірювання поверхневого натягу починалися з чистого дизельного палива, потім досліджувалися пальмова олія і далі - зразки сумішевих палив за нормальних умов. Визначалися σ_0 і h_0 поверхневий натяг та висота капілярного підняття для стандартних рідин.

Поверхневий натяг обчислювався як:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{h \cdot \rho}{h_0 \cdot \rho_0} \quad (2.1)$$

де h - висота капілярного підняття, м;
 ρ - густина паливної суміші, кг/м^3 ;

ро щільність стандартної рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Перед кожним виміром прилад ретельно промивався гарячою водою. Досвід повторювався кілька разів для кожного зразка. Визначалися показники поверхневого натягу шести варіантів паливної суміші, пальмової олії та дизельного палива при температурі приміщення 25°C . Паливні суміші були нагріті до температур 50°C та 60°C .

2.6 Визначення в'язкості дизельного палива з додаванням ПО

Для вирішення проблеми підвищеної в'язкості сумішевого палива [24, 146] використовується попередня підготовка ПО-компонента для наближення в'язкості сумішевого палива до значень в'язкості чистого ДП. Пропонується використовувати підігрів сумішевого дизельного палива. У цьому дослідженні підігрівали ПО (як добавку до сумішевого дизельного палива) до потрібної температури для наближення значень кінематичної в'язкості до значення в'язкості ДП. Оптимальна температура нагріву ПО для досягнення відповідної в'язкості складає $60-70^\circ\text{C}$. Це дозволяє знизити в'язкість сирого ПО до значень 3-8 сСт, які близькі до в'язкості чистого ДП [38].

Для визначення в'язкості використано ротажний віскозиметр Brookfield DV2TRVC, його технічні характеристики наведені в таблиці 2.3.

Випробування проводилися за ГОСТ 1929-87 «Нафтопродукти. Методи визначення динамічної в'язкості на ротажному віскозиметрі». Були використані зразки чистого ДП, чистого ПО та зразки паливних сумішей з наступним вмістом сирого ПО: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 об'ємних часток.

Таблиця 2.3
Технічні характеристики ротажного віскозиметра Brookfield DV2TRVC

№	Найменування параметру	Од. змін.	Значення
1	В'язкість	$\text{мПа}\cdot\text{сек}$	$100 \dots 40 \cdot 10^6$
2	Похибка	%	$\pm 1,0$
3	Відтворюваність	%	$\pm 0,2$
4	Швидкість обертання	хв^{-1}	$0,1 \dots 200$
5	Число ступенів		200

Пробу ретельно перемішували та фільтрували через фільтрувальний папір. Досліджувану суміш наливали в склянку, нагрівали до $60-70^\circ\text{C}$ і

витримували при зазначеній температурі 15-20 хв, періодично помішуючи. Нагріту склянку з пробєю охолоджували до температури довкілля без перемішування.

Пристрій для вимірювання в'язкості готували відповідно до інструкції з експлуатації. Величину зазору в парі конус-плита перевіряли після кожного

в'єднання конуса від вимірювального валу. Усі деталі вимірювальних пристроїв промивали розчинником, просушували та збирали. Зібраний вимірювальний пристрій заповнювали випробуваною пробєю при температурі навколишнього середовища відповідно до інструкції з експлуатації. Перед

проведенням наступних випробувань видаляли вологу з робочих поверхонь віскозиметра, коли температура зрівняється з температурою навколишнього середовища.

Вимірювальний пристрій з'єднували з термостатом, охолоджували до температури, зазначеної в нормативно-технічній документації, зі швидкістю 1-

20С за хвилину, витримували за цієї температури протягом 30 хв. Випробування проводили відповідно до інструкції з експлуатації віскозиметра.

Реєстрували кут відносного обертання внутрішнього циліндра або конуса при температурі та градієнті швидкості зсуву, зазначених у нормативно-технічній документації.

За результат приймали значення, яке зберігалось незмінним протягом 1 хвилини. Якщо значення не встановлювалось, показання реєстрували через 3 хвилини. Значення визначали з точністю до 0,5 розподілу шкали приладу.

Випробування повторювали на новій порції паливної суміші. За результат випробування приймали середнє арифметичне результати двох послідовних визначень.

Динамічну в'язкість Па·с обчислюють за формулою

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (2.2)$$

де τ – напруга зсуву, Па;

D – градієнт швидкості зсуву, с.

$$\tau = \frac{Z \cdot \alpha}{10} \quad (2.3)$$

де Z - константа вимірювального пристрою, вказана в паспорті приладу, дин/см, поділі шкали;
 α - відносний кут обертання на блоці виміру, розподілу шкали;
 10 - коефіцієнт перекладу константи вимірювального пристрою одиниці системи СІ.

$$\tau = \frac{C \cdot \alpha}{10^v} \quad (2.4)$$

де C - константа відповідного конуса вимірювального пристрою, вказана в паспорті приладу, дин/див-ділення шкали;

α - відносний кут обертання на блоці виміру, розподілу шкали;

10 - коефіцієнт перекладу константи вимірювального пристрою одиниці системи СІ.

2.7 Визначення цетанового числа дизельного палива з додаванням пальмової олії

Експериментально ЦЧ для чистого ДП, чистого ПО та їх сумішей (10, 20, 30, 40, 50, 60% об'ємних ПО) визначалося стандартним методом за ГОСТ Р 52709-2007. Технічні характеристики установки наведено у таблиці 2.4.

Отримані значення густин, поверхневого натягу, в'язкості та ЦЧ паливних сумішей представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4
 Технічні характеристики установки CFRP-5 XCP

Параметр	Значення
1	2
Діапазон цетанових чисел	30...65
Ступінь стиснення	від 8:1 до 36:1
Кількість циліндрів	один
Кількість тактів	чотири
Діаметр циліндра, дюйм	3,250
Хід поршня, дюйм	4,50
Робочий об'єм, дюйм ³	37,33
Температура олії, °C (°P)	57±8 (135±15)
Температура циліндра, °C (°P)	100±1,5 (212±3)
Температура впускного повітря, °C (°P)	66±0,5 (150±1)

Температура паливної форсунки, °С (°Р)	38±3 (100±5)
Тиск олії, КПа (рм)	172-207 (25-30)
Швидкість обертання двигуна, об/хв	900 ± 9
Кут випередження упорскування	13° до ВМТ
Затримка займання	13° після ВМТ
Тиск відкриття форсунки, МПа (РМ)	10,3±0,34 (1500±50)
Витрата палива, мл/хв	13,0

Таблиця 2.4

Фізичні властивості дизельного палива та сумішей з додаванням пальмової олії

Показник	Дизельне паливо	ПО	Біодизельна паливна суміш, ПО, % об.					
			10	20	30	40	50	60
Щільність при 20°С, кг/м ³ 50°С, кг/м ³	830	918 907	838,8	847,6	856,4	865,0	874,0	882,8
В'язкість при 20°С, сСт 50°С, сСт 100°С, сСт	3.8	37 8,6	4,37 4	4,84 4.7	5.7 5,31	8.3 5,78	11.1 6,25	12.8 6,72
Коефіцієнт поверхневого натягу при 25°С, мН/м	25	27.8	24.5	24.8	25.2	25.3	25.7	26.5
Цетанове число	50	40	48,6	47,4	46,1	45	44,4	43,8

2.8. Визначення коефіцієнта стисливості дизельного палива з додаванням ПО

2.8.1. Методика визначення коефіцієнта стискаємої ости

При дослідженнях зазвичай використовують істинний (миттєвий) коефіцієнт стисливості або середній коефіцієнт стисливості [52, 99]. Істинний коефіцієнт стисливості $\alpha_{іст}$, одержуваний шляхом вимірювання швидкості звуку в паливі, визначається відносною зміною об'єму $\Delta V/V$ при зміні тиску ΔP і обчислюється у вигляді:

$$\alpha_{\text{іст}} = \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (2.5)$$

де V - початковий об'єм палива;
 ΔV - зменшення об'єму палива за підвищення тиску, P - тиск палива.

Він характеризує зміну обсягу при цьому тиску. Середній коефіцієнт $\alpha_{\text{ср}}$ стисливості визначається при зміні тиску від атмосферного до обраної верхньої межі. Він характеризує середню стисливість палива в діапазоні зміни тисків, що розглядається.

$$\alpha_{\text{ср}} = \left(\frac{1}{V}\right) \cdot \left(\frac{\Delta V}{\Delta P}\right), \quad (2.6)$$

де V - початковий об'єм рідини;
 ΔV - зменшення об'єму рідини при підвищенні тиску від атмосферного до P , кг/см²;

ΔP - відносне збільшення тиску. Він характеризує середню стисливість палива в інтервалі зміни тиску.

Основний вплив стисливості палива на процес паливоподачі виражається залежністю збільшення тиску ΔP при стисканні від $\alpha_{\text{ср}}$. Істотно що, справжній лелека використовується в розрахунках для опису стисливості при даному тиску, а середній коефіцієнт стисливості $\alpha_{\text{ср}}$ - зручний для оцінки процесу в кінцевому інтервалі від будь-якого початкового тиску P_0 до поточного P [52-50].

Коефіцієнт стисливості можна визначити за допомогою емпіричних формул при даному тиску.

$$\frac{10^{-11}}{\alpha_{\text{ср}}} = a + b \cdot p + c \cdot p^2 + d \cdot p^3 \quad (2.7)$$

щодо миттєвих коефіцієнтів стисливості палива з щільністю 800-840 кг/м³. Коефіцієнти a, b, c, d - функції середньої за цикл температури та залежать від щільності масла та температури, p - функція середнього за цикл тиску.

Справжній коефіцієнт стисливості палива в умовах зміни тиску та температури в системі паливоподачі безпосередньої дії можна визначити експериментальним шляхом. У такій системі тиск у трубопроводі поширюється

як хвилі зі швидкістю звуку.

При розрахунках було зроблено два припущення [2]:

1) швидкість руху рідини мала порівняно зі швидкістю звуку і тому не враховується;

2) коефіцієнт стисливості вважається не залежним від тиску, тобто стиск рідини підпорядковується закону Гука.

Для визначення щільності ρ_H використовуємо вираз:

$$\rho_H = \rho_0(1 + \alpha_{cp} p_H) \quad (2.8)$$

де ρ_0 - питома густина рідини, кг/м³; p_H – початковий тиск, Мпа.

За нормальних умов у чистому ДП $a = 1250-1450$ м/с.

Для кожного виду палива середній коефіцієнт стисливості визначається за виразом:

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_0 + \alpha_{30}}{2}, \quad (2.9)$$

Під час проведення експериментальних досліджень ставилися такі:

- визначення швидкості звуку в паливопроводі для паливкової олії та її сумішей;

- визначення залежності коефіцієнта стисливості сумішевого палива від

об'ємного співвідношення у ньому ПО та ДП;

- визначення залежності коефіцієнта стисливості ПО та сумішевого палива від величини тиску стиснення.

При цьому вирішувалися такі завдання:

- створення експериментальної установки визначення швидкості хвилі тиску в трубопроводі високого тиску;

- розробка методики проведення експериментів та обробки їх результатів.

Коефіцієнти стисливості ПО та його сумішей з ДП розраховані на основі вимірювань за методикою проф. І.В. Астахова величин швидкості поширення

імпульсу тиску довгого трубопроводу - місцевої швидкості звуку

Використовувався експериментальний стенд, створений з урахуванням стенду регулювання форсунок SPRINT.6. У дослідженні розглядалися сумішеві

палива з часткою від 0,1 до 0,6 об'ємних часток ПО. Кожен досвід проводився 3

рази і складався з 25 впорскування палива. Підготовка та відбір сумішей проводилися при нагріванні до 60°C

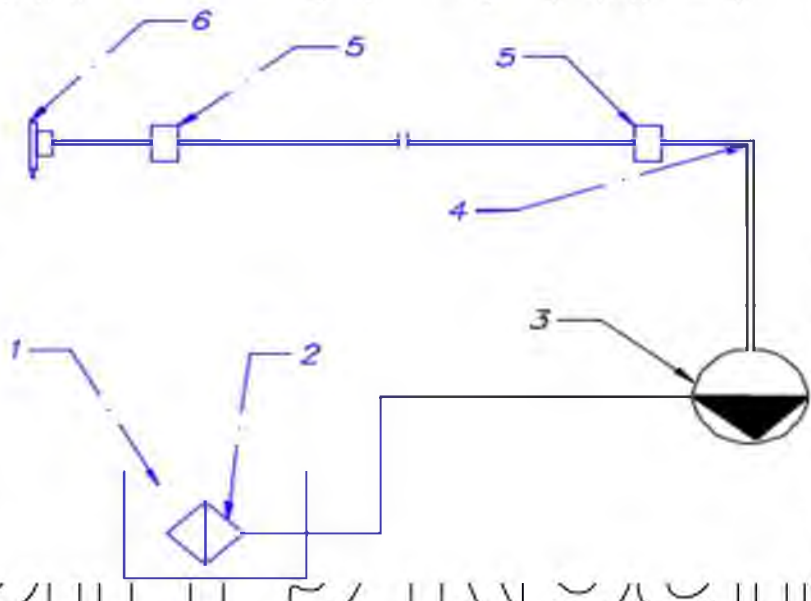


Рис.к 2.4 Гідролічна схема установки. 1 – бак для палива; 2 – фільтр; 3 – насосна секція; 4 – трубопровід; 5 – датчики; 6 - форсунка

Стенд був доповнений трубопроводом довжиною 1,4 м. Використана форсунка діаметром 22 мм з можливістю регулювання тиску початку впорскування від 10 до 40 МПа. У трубопроводі на вході та виході встановлені датчики з перетворювачем тиску з технічними характеристиками.

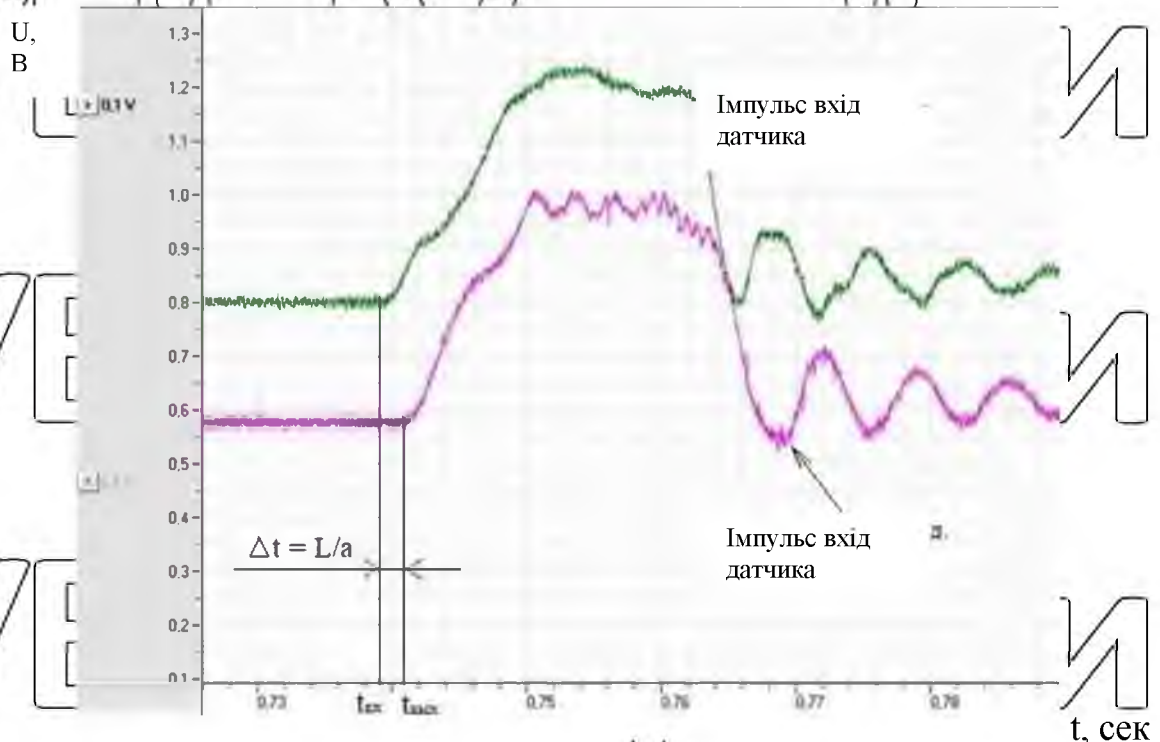


Рис. 2.6 Осцилограма поширення імпульсу тиску в трубопроводі

Висновки до розділу

1. Розроблено загальну програму проведення експериментальних лабораторних досліджень щодо визначення фізичних властивостей дизельних паливних сумішей з додаванням ПО та нафтової ДП.

2. Проведено лабораторні дослідження щодо визначення фізичних властивостей сумішевого ДП з додаванням ПО. Як оціночні показники були прийняті в'язкість, щільність і коефіцієнт стисливості сумішей.

3. При розробці інженерних рішень з переведення дизеля на сумішеве паливо необхідний розрахунок, для оцінки стабільності процесів паливоподачі та згоряння сумішевого палива в КС. Для кожного тиску за допомогою математичної формули І.В. Астахова можуть бути використані для моделювання процесу подачі палива при переведенні дизельного двигуна на суміш паливо з додаванням ПМ.

3 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ РЕГУЛЮВАНЬ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ДОДАВАННЯМ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ

Потужність, яка розвивається двигуном визначається, головним чином, кількістю палива, що впорскується в КЗ, і його теплотворною здатністю. Кількість палива, що подається в КЗ дизельного двигуна, залежить не тільки від положення дозуючого органу (рейки) паливної подачі апаратури ПНВТ, але й від фізичних властивостей паливної суміші, які враховуються при розрахунку та конструюванні паливоподавальної апаратури дизелів - густини, в'язкості та стисливості палив.

Для оцінки впливу властивостей сумішевих палив на систему палива при переході від ДП на сумішове вирішувалися наступні завдання:

аналіз впливу фізичних властивостей сумішевого палива працювати паливної системи двигуна. Склад сумішевого палива визначається об'ємною часткою ПО $g_{ПО}$ у суміші з ДП;

- аналіз впливу конструктивно-регулювальних параметрів насоса високого тиску під час роботи на суміші ГМ з ДП марки Л, які відповідають їх значенням при роботі дизеля Д-144 на чистому ДП;

- аналіз процесу паливоподачі при збереженні постійної теплотворної здатності суміші, $Q_{см} = const, (h_{акт} = var)$

Розроблений план та методи дослідження представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Загальний план та методи досліджень

	Теоретичні	Лабораторні	Стендові
Дослідження	<ol style="list-style-type: none"> Аналіз характеристики тиску впорскування та циклової подачі паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Обґрунтування впливу конструктивно-регулювальних параметрів ПНВТ при роботі двигуна на чистому дизельному паливі та на сумішевому паливі. 	<ol style="list-style-type: none"> Встановити концентраційні межі компонентів сумішевого палива із додаванням ПО; 	<ol style="list-style-type: none"> Оцінка впливу фізичних властивостей сумішевого палива з додаванням ПО на показники роботи паливної апаратури

3.1 Методика дослідження впливу складу паливної суміші на показники процесу впорскування палива у дизельний двигун

Розглядаючи фізичні властивості дизельних палив з додаванням ПМ (таблиця 2.4, таблиця 3.2), можна відзначити порівняно невеликі відмінності значень їх коефіцієнтів стисливості щодо нафтових ДП, крім того, хоча ПМ, як усі рослинні олії, характеризується великим поверхневим натягом, досліджені паливні суміші натягом, порівнянним із цим показником у нафтового ДП. Зазначені особливості фізичних властивостей ПМ і палива з його додаванням мають помітний вплив на параметри процесу паливоподачі та його стабільність.

Для оцінки цього впливу під час переходу від ДП на сумішове паливо проведено розрахункові дослідження відповідно до певних критеріїв перенастроювання ПНВТ для того, щоб отримати допустимі оптимальні характеристики впорскування. Досліджувалась робота паливної системи на ДП та на його суміші з ПМ з 10, 20, 30, 40, 50, 60% об'ємних при відповідних регулюваннях ПНВТ. У розрахунках використовувалися значення коефіцієнтів стисливості, отримані розділ 2. Розрахунки проводилися при частотах обертання 1400, 1600, 1800, 2000 хв-1.

Таблиця 3.2

Основні властивості досліджуваних дизельних палив

Фізикотехнічні властивості	Паливо							
	ДП	Суміш 90% ДП та 10% ПО	Суміш 80% ДП і 20% ПО	Суміш 70% ДП та 30% ПО	Суміш 60% ДП та 40% ПО	Суміш 50% ДП та 50% ПО	Суміш 40% ДП та 60% ПО	ПО
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щільність * за 20оС, кг/м3 50оС, кг/м3	830,0	838,8	847,6	856,4	865,0	874,0	882,8	918,0
В'язкість * кінематична при 20оС, мм2/с 100оС, мм2/с	3,8	4,37	4,84	5,31	5,78	6,25	6,72	8-6
Найнижча теплота згоряння, мДж/кг	42,5	42,01	41,33	40,73	40,32	39,98	39,2	37,1

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цетанове число*	50	48,6	47,4	46,1	45	44,4	43,8	40
Температура самозаймання, оС	250	260	270	280	290	300	289	315
Кількість повітря, для згоряння 1 кг палива кг/кг	14,3	14,14	13,98	13,82	13,66	13,5	13,34	12,7
Зміст, % за масою								
С	87	85,96	84,8	83,88	82,84	81,8	80,76	76,6
Н	12,6	12,54	12,48	12,22	12,36	12,3	12,24	12,0
О	0,4	1,5	3,7	3,7	4,8	5,9	7	11,4
Теплота, що виділяється паливом, Дж	2539,8	2534,71	2520,5	2501,2	2511,1	2515,8	2489,3	2452,1
Температура кипіння, °С	150-360	159-348	168-336	177-324	-	-	-	240
Теплота випаровування, кДж/кг	514-795	486-743	458-690	430638	-	-	-	234-270
Коефіцієнт поверхневого натягу, * 250С, мН/м	25	24,5	24,8	25,2	25,3	25,7	26,5	27,8
Коефіцієнт стисливості, * Е ⁻¹⁰ , Па ⁻¹ , при 20 МПа	8,5863	7,51	7,445	7,34	6,601	6,46	-	5,735

* Дані отримані експериментальним чи розрахунковим шляхом під час проведення цих досліджень.

Для визначення властивостей досліджуваних сумішевих палив використовувалися відомі положення з теорії робочого процесу двигуна [35].

Теплота згоряння розраховувалася за рівнянням Д.І. Менделєєва

$$H_{U} = 33,9C + 103H - 10,9(O - S) - 2,514W \quad (3.1)$$

де C , H , O , S , W - масові частки в паливі вуглецю, водню, кисню, сірки і води, відповідно.

У сумішових паливах за відсутності хімічної взаємодії між компонентами хімічний склад суміші повністю визначається хімічним складом компонентів.

Тому для таких сумішевих палив застосовна властивість адитивності. У зв'язку з цим теплота згоряння сумішевого палива може бути визначена з виразу:

$$Hu_{cm} = \frac{(\sum H_{ui} m_i)}{\sum m_i} \quad (3.2)$$

Масова частка для компонентів може бути визначена через їх масовий вміст у суміші

$$m_i = \frac{M_i}{M_{cm}} \quad (3.3)$$

Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива в циліндрі з урахуванням циклової масової подачі чистого ДП).

Для вирішення поставлених завдань було організовано багатofакторні розрахункові експерименти [43].

На першому етапі серії експериментів досліджувався вплив складу суміші ДП та ПМ на характеристики впорскування палива при фіксації активного ходу плунжера, $h_{акт} = const$.

На другому етапі розрахунок був зроблений для оцінки впливу складу суміші на характеристики впорскування палива при фіксації циклової подачі $q_{ц} = const$.

Постійні значення активного ходу плунжера $h_{акт} = const$ та циклової подачі палива, $q_{ц} = const$ відповідають їх значенням під час роботи дизеля Д-144 на чистому ДП.

На третьому етапі серії експериментів досліджувався вплив суміші ДП палива з ПМ з часткою від 0,1 до 0,6 об'ємних на параметри впорскування палива при збереженні теплотворної здатності суміші, $Q_{cm} = const$, ($h_{акт} = var$), і змінних $q_{ц}$ $h_{акт}$.

Як об'єкт розрахункових досліджень обрано паливну систему дизельного двигуна Д-144. Цей двигун оснащений ПМВТ УТН-5 з діаметром плунжера $d_{пл} = const = 8\text{мм}$, з ходом плунжера $h_{пл} = 8\text{мм}$, $n_{ц} = 1000\text{ хв}^{-1}$, форсунки ФД-22 зі штатним розпилювачем, тиск початку впорскування палива становить 17 МПа.

Для оцінки впливу властивостей сумішевих палив на систему палива, при переході від ДП на сумішове, в якості еталона були обрані параметри при номінальному режимі: об'ємна циклова подача 72 мм^3 , масова циклова подача $0,06\text{г}$, щільність дизельного палива 830 кг/м^3 .

Розглянуто та проаналізовано з використанням математичної моделі робота двигуна на різних видах сумішевих палив, вплив властивостей палив на показники процесу подачі палива на різних режимах роботи двигуна. Основне завдання, яке вирішується при гідродинамічному розрахунку процесу впорскування - визначення кількості палива, поданого в камеру згорання дизеля за цикл, а також визначення характеру зміни швидкості подачі палива, тобто його розподілу в часі. Методика розрахунку передбачає розв'язання системи рівнянь Н.Є. Жуковського - Л. Алєві для гідравлічного удару з рівняннями початкових умов, а також з рівняннями граничних умов у насоса і форсунки, що являють собою рівняння об'ємного балансу палива і динамічної рівноваги елементів системи, що рухаються, в кожен момент часу.

При математичному моделюванні за основу прийнято систему з нагнітальним трубопроводом і закритою форсункою [35]. Інші схеми паливних систем є окремими випадками цієї системи, як з погляду принципу дії, так і теоретичних посилок, покладених в основу процесу впорскування палива. Процес подачі палива вважають короткочасним одиничним імпульсом, що виникає у вхідному перерізі нагнітального трубопроводу в результаті виштовхування палива плунжером насоса обсягу нагнітання. У вхідному перерізі нагнітального трубопроводу виникає рух стисливої рідини, при якому від насоса до форсунки з місцевою швидкістю звуку йде первинна хвиля тиску. Чинники, що визначають граничні умови у вхідному перерізі трубопроводу, помітно спотворюють імпульс тиску. До таких факторів відносять обсяги камери нагнітання та штуцера насоса, нагнітальний клапан, перетікання палива через впускні вікна гільзи при русі нагнітального клапана, а також зміни стисливості, в'язкості та щільності палива внаслідок зміни тиску в системі. Пружність стінок нагнітального трубопроводу, додатково спотворюють імпульси, що підійшли до форсунки:

1. рух голки форсунки;
2. об'єм розпилувача;
3. різкий перехід від перерізу трубопроводу до прохідних перерізів

отворів, що розпилюють.

Різкий перехід від перерізу трубопроводу до прохідних перерізів отворів розпилювача гальмує рух палива та значно підвищує його тиск. Внаслідок чого виникає гідравлічний удар. Це і дозволяє описувати рух палива у нагнітальній магістралі рівняннями теорії гідравлічного удару:

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}; \\ \frac{\partial c}{\partial x} = -\frac{1}{a^2 \rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}, \end{cases} \quad (3.4)$$

де c - швидкість руху палива у бік форсунки;

P - тиск палива; ρ - щільність палива.

Від моменту початку відсічення у нагнітальній магістралі можливі хвильові коливання палива. Накладання прямих і зворотних хвиль тиску зумовлює складний закон зміни тиску у кожній точці нагнітальної магістралі.

При недостатньому розвантаженні останнього, у момент посадки клапана, у насоса може сформуватися значна пряма хвиля тиску, здатна повторно підняти голку розпилювача та здійснити додаткове впорскування палива (підприскування). Правильний підбір конструктивних параметрів елементів системи забезпечує загасання коливань тиску лінії нагнітання до початку наступного циклу.

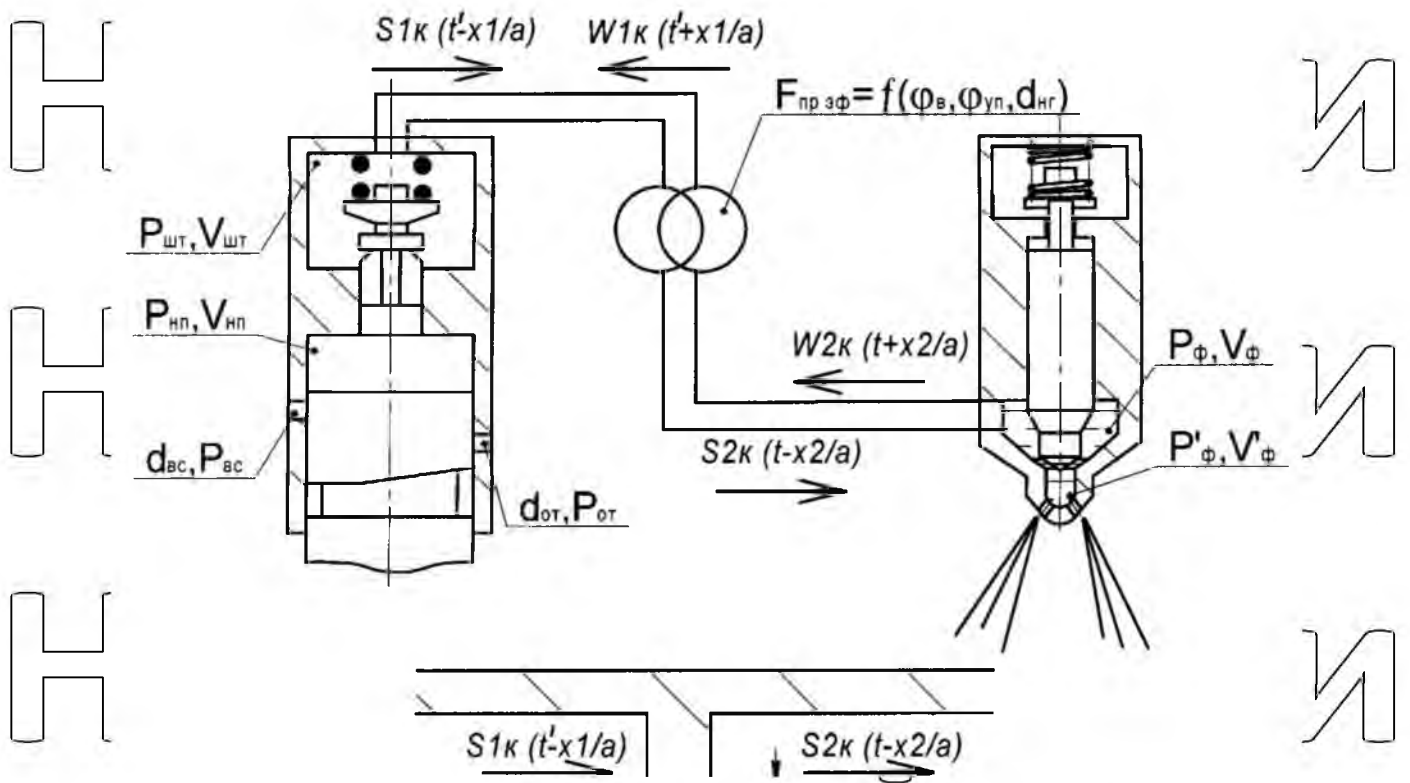


Рис. 3.1. Розрахункова схема системи паливоподачі

3.2 Оцінка впливу складу суміші дизельного палива та пальмової олії на показники процесу впорскування палива у дизельному двигуні

Підвищена щільність і в'язкість ПМ є причиною збільшення масової циклової подачі та годинного витрати палива при його використанні в дизелі в порівнянні з ДП по ГОСТ 305-2013 [20, 30, 40, 41]. Розраховується щільність $\rho_{см}$ і масова циклова подача $G_{дсм}$ для суміщового палива, що складається з дизельного палива та пальмового масла при роботі дизеля Д-144 на номінальному швидкісному режимі при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і часткових швидкісних режимах при $n = 1800, 1600$ і 1400 хв^{-1} .

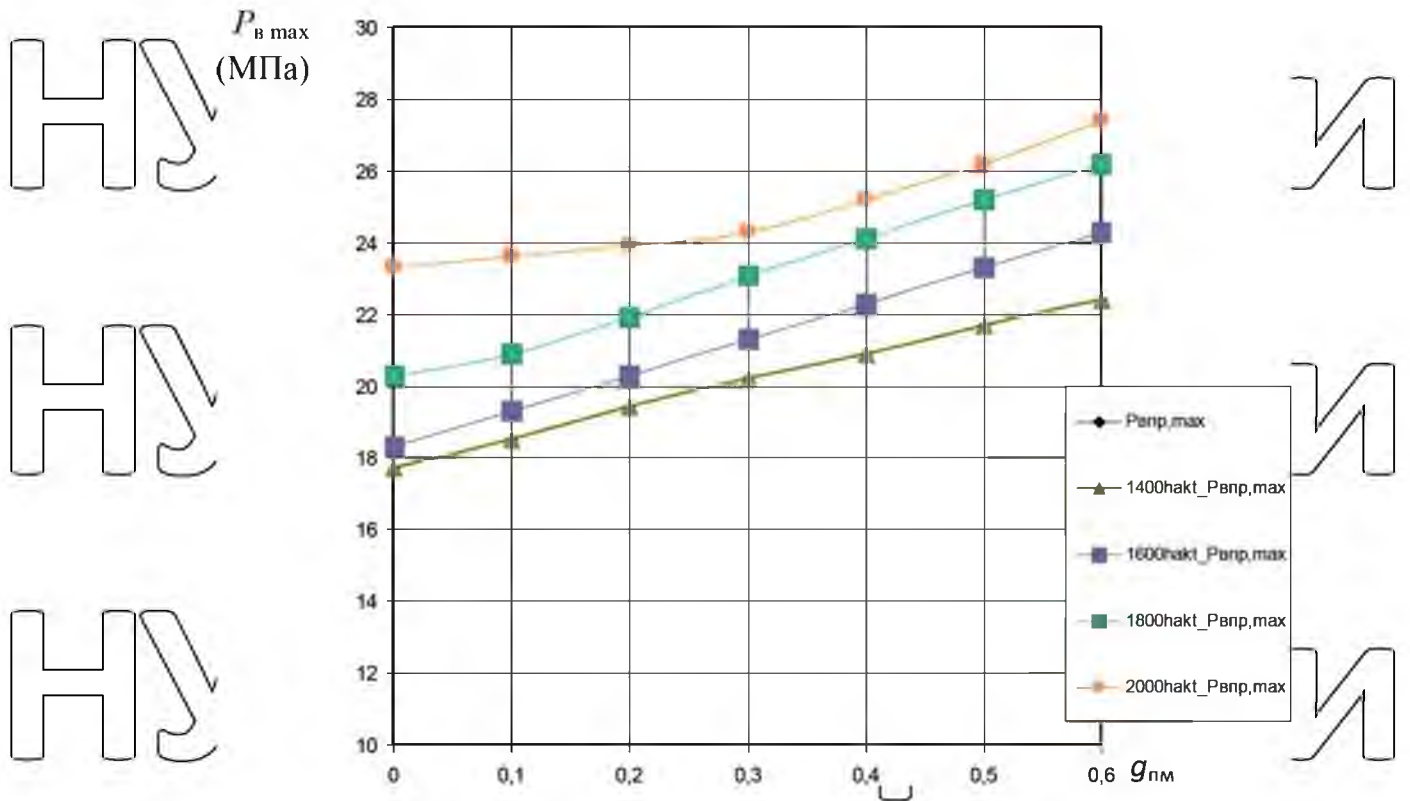


Рис.3.2. Вплив складу сумішевого палива $g_{\text{ПО}}$ на максимальний тиск

впорскування палива P_{max} (МПа) при постійному активному ході плунжера $H_{\text{пл,акт.}}$

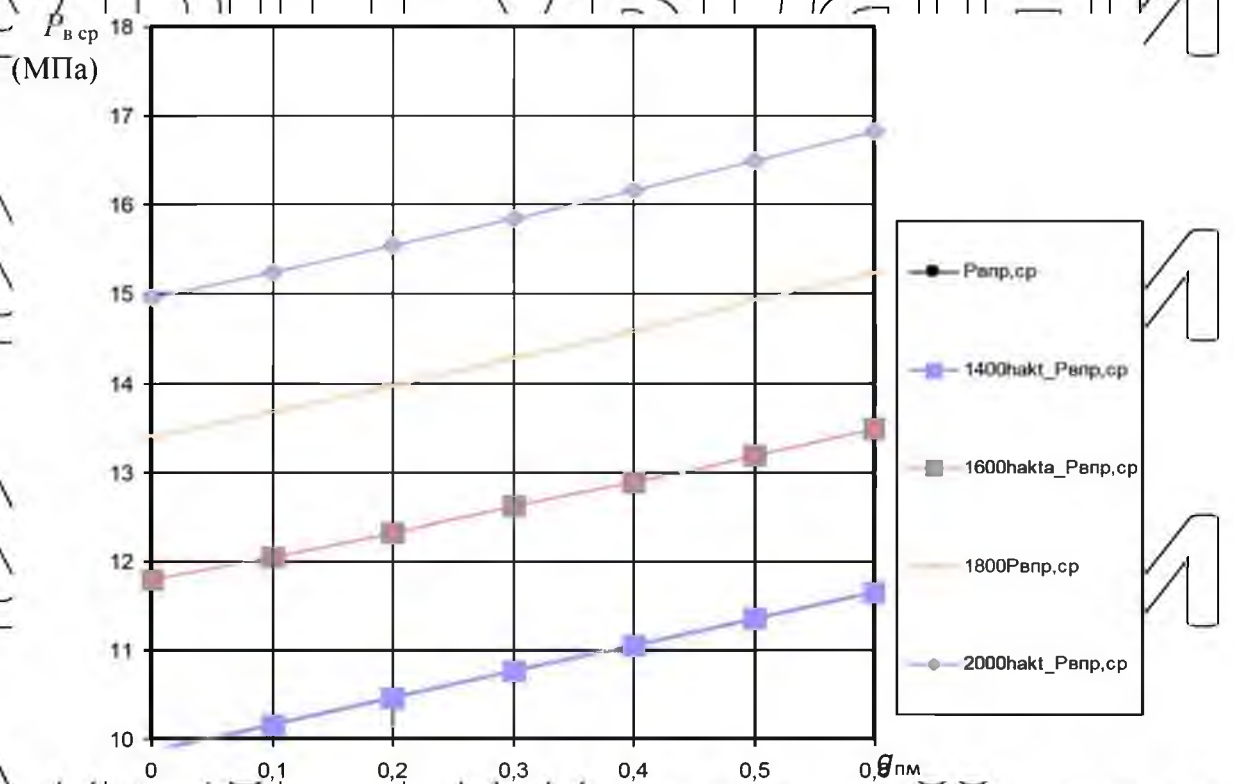


Рис.3.3. Вплив складу сумішевого палива $g_{\text{ПО}}$ на середні тиски впорскування палива $P_{\text{в ср}}$ (МПа) при постійному активному ході плунжера $H_{\text{пл,акт.}}$

Аналіз рисунків 3.2-3.3 показує, що збільшення частки ПО $g_{\text{ПО}}$ у складі

сумішевого палива веде до збільшення масової циклової подачі суміші, зростання середніх та максимальних тисків впорскування та загальної тривалості подачі. Це пояснюється збільшенням щільності та в'язкості суміші.

Слід зазначити більше збільшення масової циклової подачі суміші $G_{\text{цсм}}$ зі зростанням частки ПО у суміші $g_{\text{по}}$, отриманої при гідродинамічному розрахунку (див. рис. 3.2), порівняно з масовою цикловою подачею суміші $g_{\text{цсм}}$ отриманої тільки при обліку щільності суміші (див. рис. 3.1). Це можна пояснити зменшенням витоків суміші через зазори в парі плунжерної через збільшення в'язкості суміші зі зростанням частки ПО $g_{\text{по}}$. При зменшенні швидкісного режиму вплив частки ПО у суміші на показники впорскування стає помітнішим. Так, при $n=2000$ хв⁻¹ $G_{\text{цсм}}$ збільшується на 0,0062 г, а при $n=1400$ хв⁻¹ на 0,0096 г.

Для стабілізації масової циклової подачі суміші $g_{\text{цсм}}$ із зростанням частки ПО у суміші $g_{\text{по}}$ необхідно зменшувати активний хід плунжера, тобто проводити регулювання паливної апаратури.

Виконано серію розрахунків показників процесу паливоподачі для сумішевого палива за умови постійної масової циклової подачі суміші $G_{\text{цсм}}$, що відповідає цикловій подачі на чистому ДД при кожному швидкісному режимі.

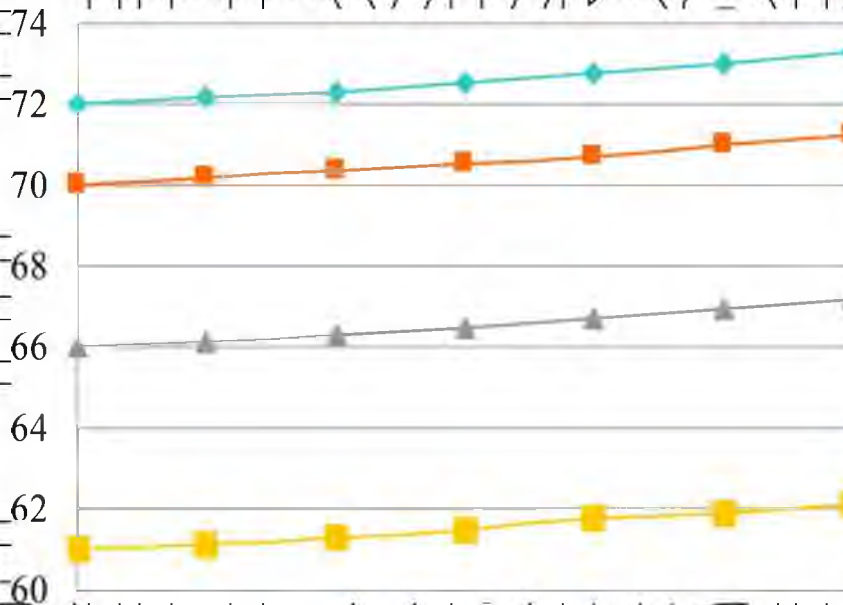


Рис. 3.5. Вплив складу сумішевого палива $g_{\text{по}}$ на об'ємну циклову подачу суміші $V_{\text{цсм}}$, мм³, при постійній кількості підведеної теплоти $Q_{\text{см}}$

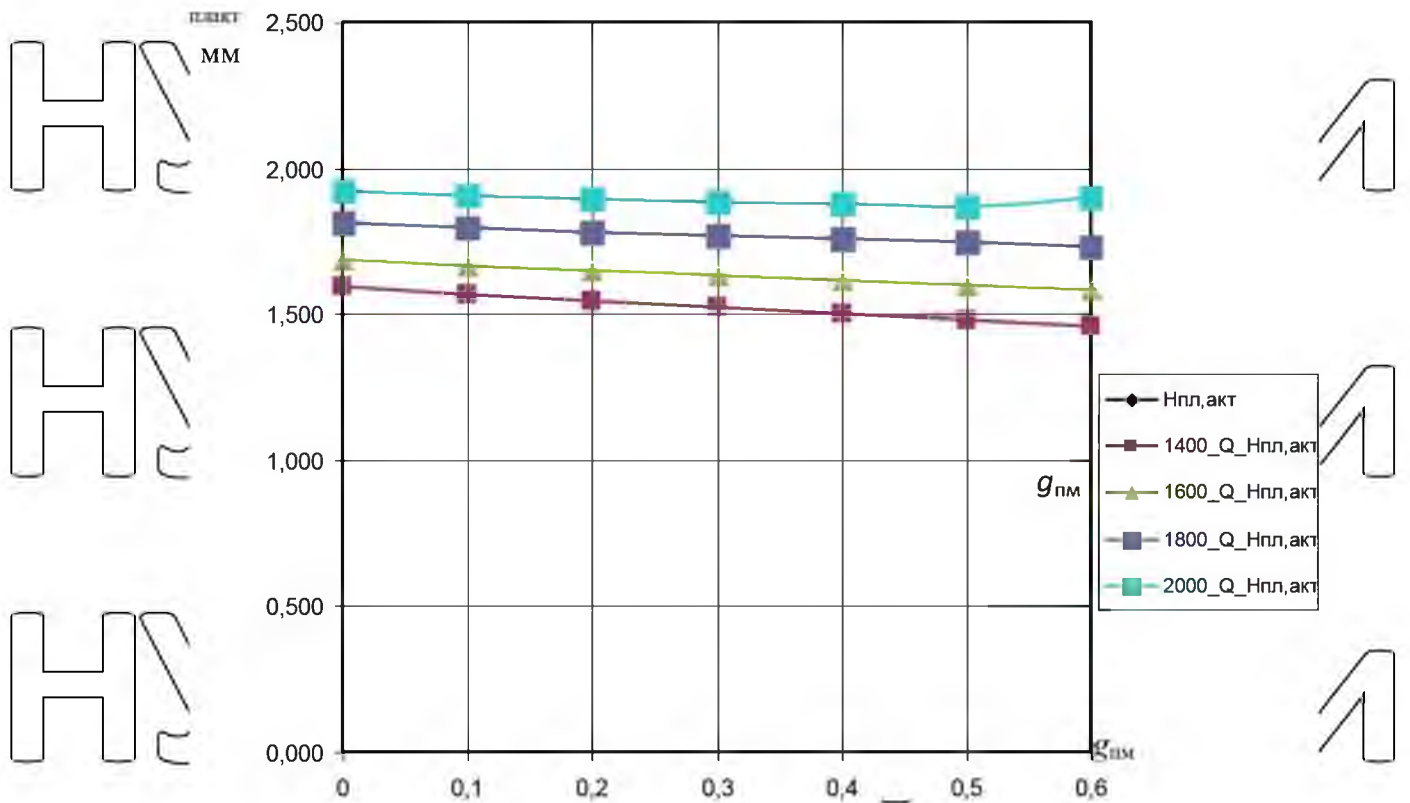


Рис. 3.6. Вплив складу сумішевого палива $g_{по}$ на активний хід плунжера

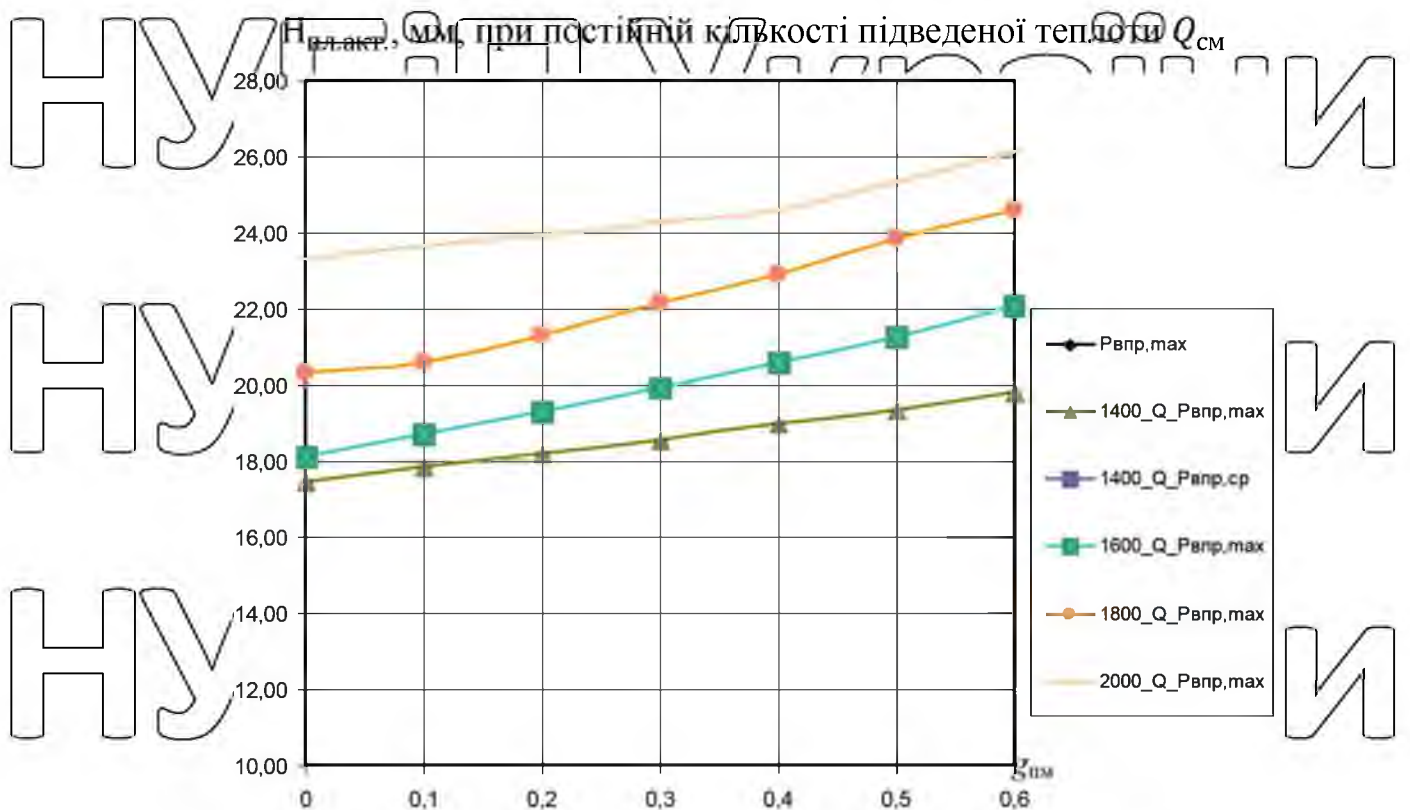


Рис. 3.7. Вплив складу сумішевого палива $g_{по}$ на максимальні тиски

впорскування палива $P_{впр,max}$, МПа при постійній кількості підведеної

теплоти $Q_{см}$

Для збереження при подачі сумішей ДП та ПО постійною кількістю

введеної теплоти $Q_{см}$, що відповідає чистому ДП, необхідно зменшувати активний хід плунжера. Аналіз малюнків 3.5-3.6 показує, що в цьому випадку масова та об'ємна циклова подача суміші зростають, при цьому масова подача суміші зростає в менших межах, ніж за збереження постійного активного ходу плунжера (див. рис. 3.3). Результати представлені у таблиці 3.3. Відхилення об'ємної циклової подачі при збереженні постійної кількості теплоти, введеної з паливом в КС, при зміні складу суміші на всіх швидкісних режимах не перевищують 2% від об'ємної подачі при роботі на чистому ДП, при цьому відхилення масової циклової подачі перевищують 8%.

Середні та максимальні тиски впорскування зростають у менших межах, ніж за умови збереження постійного активного ходу плунжера (див. малюнки 3.4 та 3.5), але у більших межах, ніж за умови збереження постійної циклової подачі суміші (див. малюнки 3.6 та 3.7). Активний хід плунжера знижується в менших межах, ніж за збереження постійної масової циклової подачі суміші (див. рис. 3.5). Однак при зменшенні частоти обертання колінчастого валу необхідне зниження активного перебігу плунжера стає більш значним. Загальна тривалість впорскування за цих умов практично не змінювалася.

Таблиця 3.2

Зміна регульованих параметрів ПІВТ при збереженні постійної кількості теплоти, введеної з паливом у камеру згоряння зі зміною об'ємної частки пальмової олії

Частка пальмової олії в суміші $g_{по}$	Зміна масової циклової подачі суміші		Зміна об'ємної циклової подачі суміші		Зміна активного ходу плунжера	
	г/цикл	%	мм ³ /цикл	%	мм	%
$n=2000 \text{ хв}^{-1}$						
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,00077	1,29	0,16142	0,22	0,013	0,68
0,2	0,00153	2,56	0,31005	0,43	0,025	1,32
0,3	0,00235	3,93	0,52452	0,73	0,035	1,86
0,4	0,00319	5,34	0,75774	1,05	0,043	2,29
0,5	0,00405	6,78	1,00915	1,40	0,052	2,78
0,6	0,00492	8,23	1,26688	1,76	0,063	2,9
$n=1800 \text{ хв}^{-1}$						
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,00075	1,29	0,15975	0,23	0,015	0,83
0,2	0,00151	2,6	0,32798	0,47	0,03	1,68

0,3	0,00229	3,94	0,51611	0,74	0,043	2,43
0,4	0,0031	5,34	0,73509	1,05	0,055	3,13
0,5	0,00393	6,76	0,97254	1,39	0,065	3,72
0,6	0,00478	8,23	1,22791	1,75	0,082	4,74
п=1600 хв-1						
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,0007	1,28	0,14211	0,22	0,02	1,2
0,2	0,00143	2,61	0,31666	0,48	0,039	2,37
0,3	0,00217	3,96	0,49923	0,76	0,057	3,5
0,4	0,00294	5,37	0,7129	1,08	0,074	4,59
0,5	0,00372	6,79	0,93364	1,41	0,09	5,64
0,6	0,00453	8,27	1,18396	1,79	0,106	6,7
п=1400 хв-1						
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,00066	1,3	0,14700	0,24	0,024	1,53
0,2	0,00133	2,63	0,30275	0,5	0,048	3,11
0,3	0,00201	3,97	0,46698	0,77	0,071	4,67
0,4	0,00279	5,51	0,74344	1,22	0,091	6,06
0,5	0,00344	6,8	0,8656	1,42	0,114	7,71
0,6	0,00419	8,28	1,09859	1,80	0,134	9,19

Як оціночні показники прийняті параметри процесу упорскування (тривалість, диференціальний та інтегральний закони упорскування). Поширення та розвиток паливного факела, кут випередження упорскування та ін. мають тенденцію до підвищення. Але динаміка розвитку струменя і основні геометричні параметри палива, що розпилюється, виявляються практично в рекомендованих для даного двигуна межах.

Висновки

В якості оціночних показників роботи паливної апаратури дизельного двигуна були прийняті: дійсна циклова подача, максимальний тиск упорскування, середній тиск упорскування, тривалість впорскування, град., диференціальні характеристики впорскування.

На наш погляд, для практичного використання найбільш цінними є результати розрахунків паливоподачі, виконані при збереженні постійної кількості теплоти, введеної з паливом у камеру згоряння, оскільки саме в цьому випадку вплив складу суміші на сумішоутворення та динаміку згоряння буде мінімальним. Чисельні значення змін масової та об'ємної подачі сумішового палива, а також регульовального параметра ПНВТ - активного ходу плунжера при зміні об'ємної частки ПМ ξ_{pm} у суміші для цього випадку наведено у

таблиці 3.2.

Відхилення активного ходу плунжера зростають зі збільшенням частки пальнової олії в суміші та зі зменшенням швидкісного режиму, досягаючи 9,19% при об'ємній частці ПО у суміші - 0,6 при частоті 1400 хв⁻¹.

Виходячи з отриманих результатів, використання як палива сумішей ДП з ПО можливе без будь-яких втручань у регулювання паливної апаратури безпосередньої дії для сумішей із вмістом до 0,3 об'ємних часток ПО (див. рис. 3.4). Зміна величини циклової подачі при цьому залишиться в межах встановлених норм. Загальні технічні умови» (до 5% для паливних насосів багатопаливних дизелів).

Для підтримки незмінної циклової подачі палива величина активного ходу плунжера ПНВТ УТН-5 повинна зменшитись на 13,5% (2,3 мм) при переході від чистого ДП на сумішове з 60% об'ємними ПМ. Збільшення вмісту у сумішевому паливі ПО призводить до зниження його теплотворної здатності.

Однак для збереження кількості теплоти, що виділяється при згорянні сумішевого палива ПМ10, потрібно зменшити величину активного ходу плунжера менш ніж на 3% (0,6 мм), так як зі збільшенням частки ПО збільшується щільність сумішевого палива та маса циклової подачі. Якщо

прийняти як основну мету при заміні ДП на сумішове збереження кількості теплоти, що виділяється при його згорянні, то будь-яких змін у регулюванні ПНВТ не потрібно.

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ВПЛИВУ СКЛАДУ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ДОДАВАННЯМ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Завдання роботи:

- оцінка змін показників роботи дизельного двигуна під час використання дизельного палива з додаванням ПО при моделюванні процесів за допомогою ПК [42, 43];
- вибір оптимального складу паливної суміші за результатами розрахункових експериментів та оцінка екологічних показників роботи дизельного двигуна [25, 31]

4.1 Ефективні характеристики дизеля

З використанням характеристик процесу подачі палива, одержаних у розділі 3, проведено моделювання робочого процесу для оцінки показників характеристики дизеля Д-144.

Моделювання виконувалося у програмному комплексі [9]. Як паливо поряд з нафтовим дизельним застосовувалося дизельне паливо з додаванням ПО 10, 20, 30% об'ємних. Отримані результати показані в таблиці 4.1 та на рис. 4.1.

Визначалися та розраховувалися такі показники:

- n_k - частота обертання колінчастого валу, хв
- n_n - частота обертання розподільчого валу, хв
- N_e - потужність двигуна, кВт
- q_c - масова циклова подача, г/цикл
- g_e - ефективна витрата палива, г/кВт год

α - коефіцієнт надлишку повітря

η - коефіцієнт наповнення

M_k - момент, що крутить, Н·м

Для розрахункової оцінки характеристик роботи дизельного двигуна в ПК як вихідні дані прийнято параметри двигуна Д-144. Характеристики впорскування палива отримані розрахунковим методом у ПК «Вприскування».

Таблиця 4.1.

Результати розрахункового моделювання залежності ефективних показників роботи дизельного двигуна Д-144 від складу паливної суміші на номінальному

режимі $n=2000 \text{ хв}^{-1}$.

ПО, заг. частки.	N_e , кВт	g_e г/кВт	G_t г, кг/год	M_k Н*м	q_c , г
0	50,0	288	14,40	238,8	0,060
0,1	50,0	288	14,40	238,8	0,060
0,2	49,1	297	14,88	239,1	0,062
0,3	47,1	321	15,12	225,1	0,063

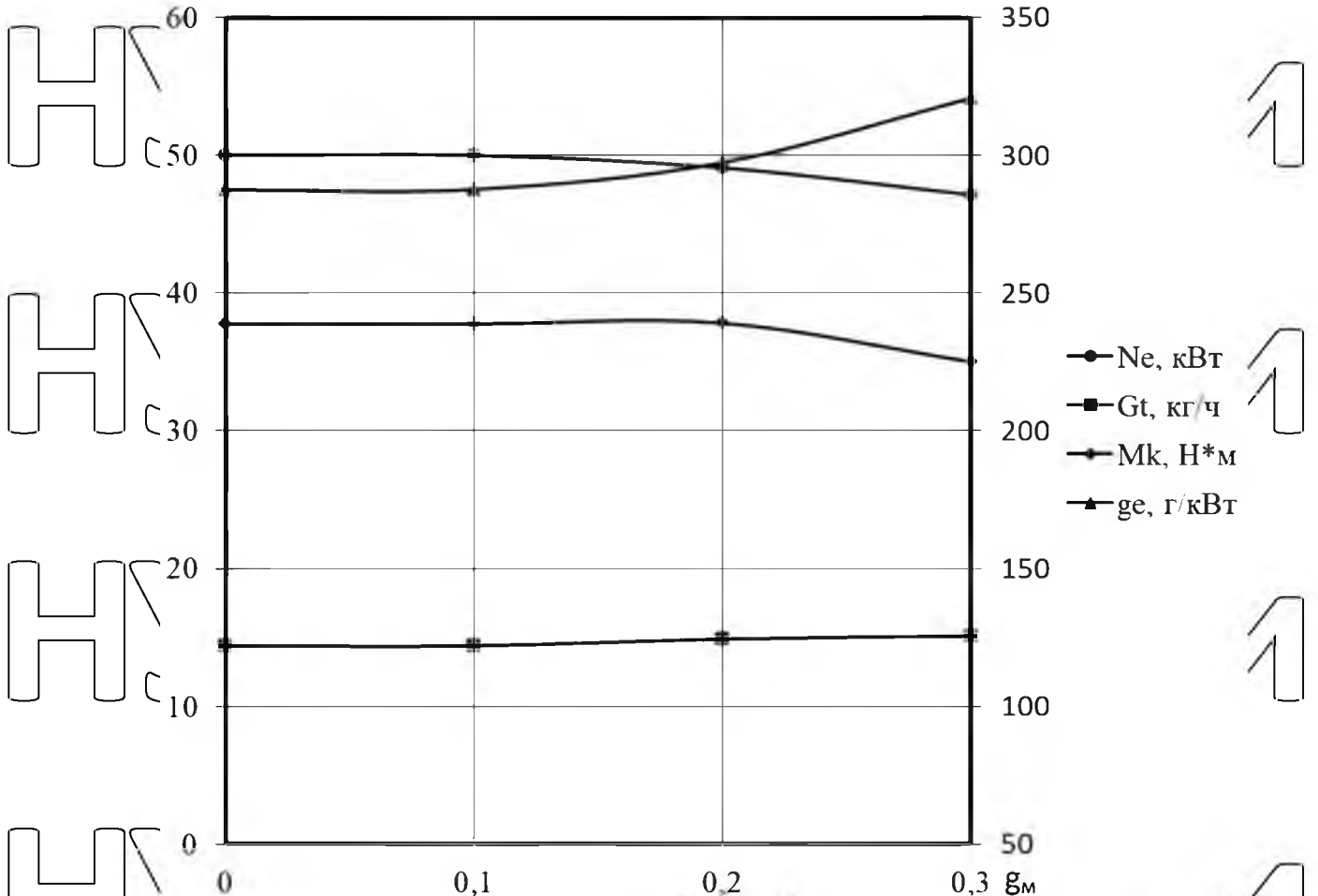


Рис. 4.1 Залежність ефективних показників дизельного двигуна Д-144 від складу сумішевого дизельного палива із додаванням ПО.

Збільшення циклової подачі при зростанні частки ПМ у паливі відбувається, в основному, за рахунок зниження стисливості сумішевого палива щодо ДП.

Так, при роботі на чистому ДП і на суміші ПО10 об'ємна циклова подача складала $0,060 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, а при роботі на ПМ20 - вже $0,062 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, зростання на $3,33\%$, необхідного для стиснення палива до необхідного тиску.

Склад сумішевого палива значно впливає на тиск подачі палива в лінії високого тиску. При переході від ДП до сумішових палив, максимальний тиск упорскування при збільшенні об'ємного вмісту ПО в суміші призводить до

зростання середнього тиску впорскування і дійсної тривалості впорскування).

Підвищення вмісту ПО в паливній суміші призводить до зменшення максимального моменту, що крутить, і максимальної потужності. Для суміші ПО10 і ПО20 момент, що крутить, і потужність порівняні з показниками для чистого ДП, при цьому об'ємна циклова подача збільшилася для ПМ20 на 3,3%.

Для суміші ПМ30 момент, що крутить, зменшився на 5,74%, потужність зменшилася на 5,8% в порівнянні з чистим ДП, при цьому об'ємна циклова подача збільшується на 5%.

Це можна пояснити погіршенням характеристик розпилювання сумішевих палив при підвищенні їх в'язкості та щільності, зменшенням теплотворної здатності, погіршенням сумішоутворення та згоряння. При цьому зростання середнього тиску впорскування не дає значного ефекту для поліпшення сумішоутворення.

Зменшення нижчої теплоти згоряння сильно знизило результати моделювання показників роботи двигуна при використанні сумішей ПО20 та ПО30. На режимі максимальної потужності при частоті обертання колінчастого валу $= 2000 \text{ хв}^{-1}$ при роботі на сумішевому паливі зростає питома ефективна витрата палива від 288 кг/год у ПО10 (практично як у ДП) до 321 кг/год у ПО30

(що на 11,46% вище, ніж під час роботи на ДП). Зазначене збільшення питомих витрат сумішевих палив ПО20 та ПО30 можна пояснити зменшенням їх теплотворної спроможності. Ні порівняно з ДП (на 2,8% та 4,2% відповідно).

При цьому ефективність процесу згоряння зі збільшенням вмісту ПО у сумішевому паливі практично не змінилася. Ступінь впливу в'язкості палива на об'ємну циклову подачу ДП, сумішевого палива визначити складніше.