

Шифр "Етанол"

**АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ
ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА**

Зміст

Перелік прийнятих скорочень	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Обґрунтування доцільності використання біопалива в транспортних дизелів.....	7
РОЗДІЛ 2. Аналіз течії нафтового і альтернативних палив в розпилювачі дизельних форсунок	14
2.1. Напрямки використання біопалив в транспортних дизелях	14
2.2. Методи вирішення проблем використання етанолу в якості моторного палива для дизелів	21
Висновки.....	27
Перелік використаних джерел	28

Перелік прийнятих скорочень

ВГ – відпрацьовані гази;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ДП – дизельне паливо;

ЗПГ – зріджений природний газ;

ЗВГ – зріджений вуглеводневий газ;

ПДЕ – поновлювані джерела енергії;

ПНВТ – паливний насос високого тиску;

NO_x – оксиди азоту.

Вступ

Пильна увага до альтернативних палив обумовлено швидким зростанням світової автомобілізації і необхідністю його безперебійного забезпечення моторними паливами. Лідером з розвитку альтернативної енергетики є США, яке суттєво випереджають інші країни по використанню альтернативних моторних палив. При цьому необхідно зазначити, що в США споживання спиртних палив значно випереджає споживання інших альтернативних палив - пропан-бутанових сумішей (зрідженого вуглеводневого газу), компримованого природного газу і зрідженого природного газу.

Серед альтернативних енергоносіїв, які використовуються на транспорті, одними з найбільш перспективних є спирти і палива, вироблені на їх основі. Як зазначено вище, спиртові палива можна отримати з будь-якого вуглеводневої сировини - як органічного (сільськогосподарські культури, рослинні відходи, водорості та ін.). Так і мінерального (природний газ, вугілля, горючі сланці). Серед переваг спиртових палив можна відзначити наявність в їх молекулах атомів кисню, що сприяють зниженню шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згорання.

Актуальність проблеми. Етанол використовується в якості палив в двигунах з примусовим займанням. Слід, однак, відзначити, що спалювання спиртних палив, причому з кращою паливною економічністю, можливо і в дизелях. Дизелі з нерозділеними камерами згорання, що працюють на етанолі, мають термічний ККД на 20-35% вище, ніж бензинові двигуни. У той же час, цей спирт має низку недоліків, які перешкоджають його широкому використанню в якості палив для дизелів. При організації процесу згорання найпростіших спиртів в циліндрах дизеля виникає проблема їх займання, оскільки ці спиртові палива мають низькі цетанові числа.

Науково-прикладною задачею, що вирішується в роботі, є поліпшення екологічних показників дизельних двигунів шляхом використання альтернативних палив.

Об'єктом дослідження експлуатаційні та екологічні показники автомобільного двигуна при використанні альтернативних палив.

Предметом дослідження аналіз роботи автомобільних двигунів на різних режимах палива.

Метою роботи є покращення екологічних показників автомобільних двигунів за рахунок використання альтернативних палив.

Основні задачі дослідження:

- провести літературний аналіз щодо використання альтернативних видів палива для покращення характеристик двигуна;
- визначити ефективність використання альтернативних видів палива на техніко-економічні та екологічні показники автомобільного двигуна.

Методи дослідження. Використано системний підхід визначення впливу використання різних видів палива на параметри робочих процесів двигунів.

Основні наукові результати та їхня новизна:

1. Установлено закономірності впливу різних видів альтернативних палив на екологічні показники дизельних двигунів.
2. Проаналізовано вирішення проблеми використання етанолу в якості моторного палива для дизельних двигунів.

Достовірність результатів дослідження забезпечена коректною постановкою науково-прикладної задачі, позитивними результатами порівняльного аналізу запропонованих та існуючих технічних рішень.

Конкретна особиста участь авторів у проведенні аналізу та установлення впливу використання різних видів палива на екологічні показники дизельного двигуна, врахування отриманих закономірностей при вирішенні проблем використання етанолу в якості палива для дизелів.

Апробація роботи. Доповіді на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Наукові публікації. Результати наукової роботи представлені у наступних наукових публікаціях:

- Використання методу озонування наддувочного повітря дизельного двигуна для покращення його екологічних показників /
 // Priority directions of science development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2020. Pp. 218-220. URL: [http://sci-conf.com.ua.](http://sci-conf.com.ua;);

- Using the charge air ozonation to improve internal combustion engines environmental performance /
 // IV International Scientific and Practical Conference “Scientific

achievements of modern society”, Liverpool: Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua”. – 2020. Pp. 297-301.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 2 розділів та висновків. Обсяг роботи становить 31 сторінок машинописного тексту, 13 рисунків, бібліографія з 15 найменувань.

Ключові слова: відпрацьовані гази, двигун внутрішнього згорання, оксиди азоту, сажа.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ

1.1. Тенденції розвитку світового паливно-енергетичного комплексу та типи біопалива, використовуваних в транспортних дизелях

Сучасний етап розвитку енергетики характеризується неминучим виснаженням світових запасів корисних копалин при одночасному збільшенні енергоспоживання. За прогнозами до 2020 році споживання енергоресурсів складе 18...20 млрд. тон на рік в нафтовому еквіваленті [1, 3]. Очікується, що до середини нинішнього століття зростання споживання первинних ресурсів в порівнянні з 2010 р подвоїться і складе близько 28 млрд. тон в нафтовому еквіваленті. При цьому зросте роль поновлюваних енергетичних ресурсів. Планується, що через найближчі 10 років частка поновлюваних джерел енергії в енергобалансі провідних промислових країн складе від 10 до 30% [2]. Так, відповідно до даних роботи на 2019 рік обсяг ринку «чистих» технологій складе 325,9 млрд дол. США (рис. 1.1).

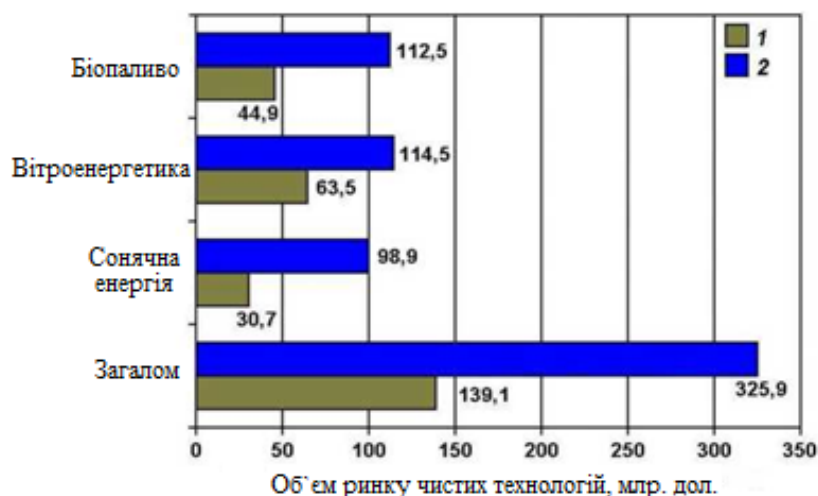


Рисунок 1.1. Механізм утворення твердих часток в камері згоряння дизеля

При цьому ринок біопалив оцінюється в 112,5 млрд дол. (близько 30% всіх відновлюваних джерел енергії).

У зв'язку із зазначеною тенденцією в порівняно недалекій перспективі сировинна база для виробництва енергоносіїв для транспортних енергетичних установок істотно розшириться. Їх будуть проводити не тільки з корисних копалин, але і з поновлюваних джерел енергії (біомаса, рослинні масла, спирти та ін.) [1, 4, 5, 8].

Пильна увага до альтернативних палив обумовлено швидким зростанням світового автомобілізації і необхідністю його безперервного забезпечення моторними паливами. Лідером з розвитку альтернативної енергетики є США, які суттєво випереджають інші країни по використанню альтернативних моторних палив. При цьому необхідно зазначити, що в США споживання спиртних палив значно випереджає споживання інших альтернативних палив - пропан-бутанових сумішей (зрідженого вуглеводневого газу - ЗВГ), компримованого природного газу і зрідженого природного газу (ЗПГ), [6].

Планується, що через 10 років частка поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) в енергобалансі провідних промислових країн складе від 10 до 30 %. При цьому значна частка ПДЕ припадає на біопалива, вироблені з рослинної сировини [7]. Найбільше споживання цих ресурсів передбачається в країнах Європейського союзу. Серед альтернативних палив, вироблених з рослинної сировини, в першу чергу, необхідно виділити біоетанол, отримання якого можливо з різної рослинної сировини - цукрових буряків, цукрової тростини, кукурудзи, пшениці, картоплі, солодкого сорго, топінамбура і інших сільськогосподарських культур. Це найбільш широко застосовуваний на транспорті вид біопалива. Сучасне світове виробництво етанолу становить близько 100 млрд. літрів в рік (приблизно 80 млн. т/рік) [9]. Велика його частина припадає на паливний етанол.

У країнах Європейського союзу крім етанолу широке застосування знайшли палива, одержувані з рослинних масел. При цьому розглядається цілий

ряд рослинних масел: рапсове, соняшникова, бавовняне, соєва, лляна, пальмова, арахісове і деякі інші. Перспективними біопалива є самі рослинні масла, їх суміші з нафтовими і альтернативними паливами, складні ефіри (метилові, етилові, бутилові) рослинних масел, звані біодизельного палива. Схожі з нафтовими моторними паливами енергетичні характеристики рослинних масел і їх похідних дозволяють використовувати ці палива в якості альтернативних моторних палив.

Необхідно відзначити, що в 2013 році на частку біодизельного палива, виробленого з рослинних масел, припадало близько 70 % (за об'ємом) всього об'єму біопалив, вироблених в країнах Європейського Союзу, а на частку біоетанолу - близько 28 %. У 2009-2012 р.р. біоетанол імпортувався як паливо Е90 (суміш 90 % бензину і 10 % етанолу). Динаміка виробництва та споживання біопалива в країнах ЄС представлена на рис. 1.2 [2].

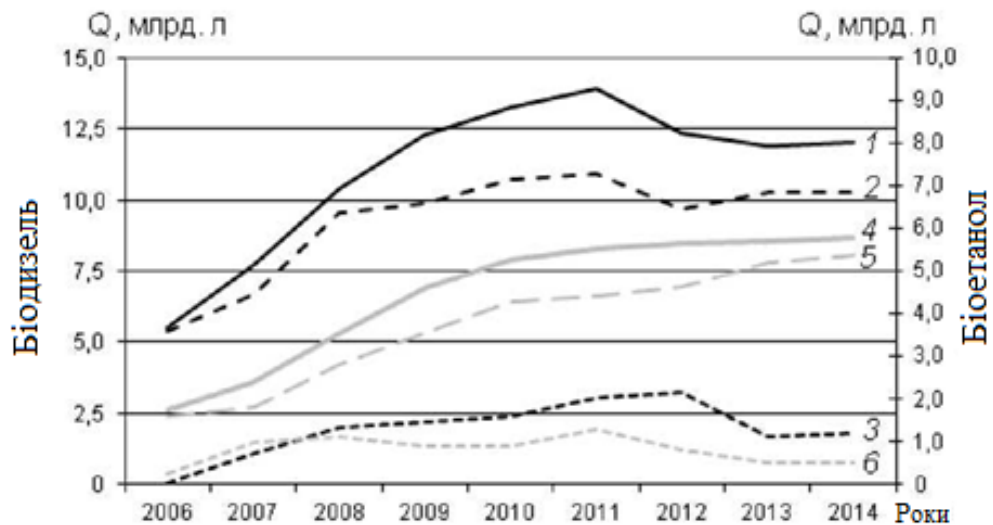


Рисунок 1.2. Динаміка виробництва та споживання біопалива в країнах ЄС: 1 - споживання біодизельного палива; 2 - його виробництво; 3 - його імпорт; 4 - споживання біоетанолу; 5 - його виробництво; 6 - його імпорт

Таким чином, серед альтернативних енергоносіїв, які використовуються на транспорті, одними з найбільш перспективних є спирти і палива, вироблені на їх основі. Як зазначено вище, спиртові палива можна отримати з будь-якого вуглеводневої сировини - як органічного (сільськогосподарські культури, рослинні відходи, водорості та ін.), Так і мінерального (природний газ, вугілля, горючі сланці). Серед переваг спиртових палив можна відзначити наявність в їх молекулах атомів кисню, що сприяють зниженню шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння.

У деяких країнах вже діють стандарти на біоетанол. Відповідно до цих стандартів вимоги до випускається етанолу в різних країнах розрізняються, але ці відмінності незначні. Тільки в США допустимим є вміст етанолу 92,1 % в суміші з водою і денатурує речовинами. Тобто, по суті, допускається застосування азеотропної суміші, з регулюванням вмісту води за допомогою денатуруючих присадок. В інших країнах етанол для транспорту повинен бути безводним, тобто абсолютним спиртом.

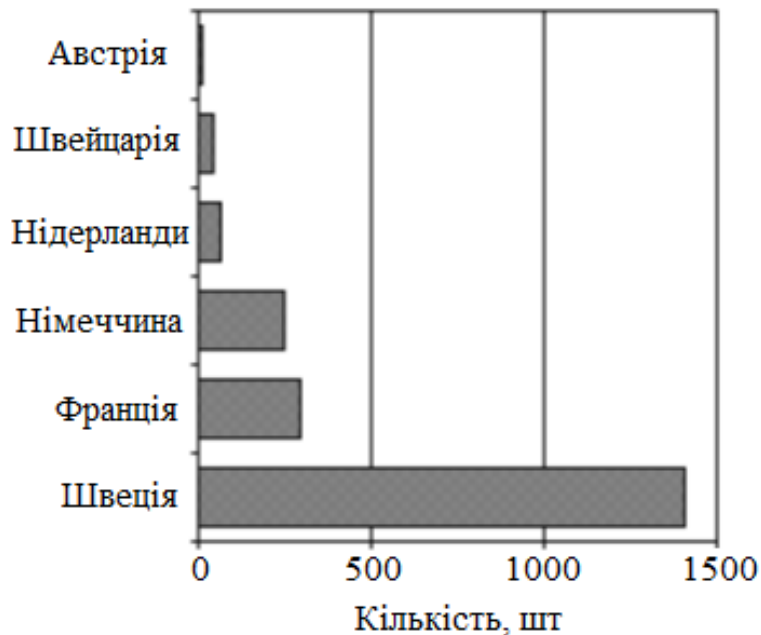


Рисунок 1.3. Кількість АЗС, що реалізують паливо Е-90 в країнах ЄС

Етанол використовується в якості палив в двигунах з примусовим займанням. Слід, однак, відзначити, що спалювання спиртових палив, причому з кращою паливною економічністю, можливо і в дизелях. З даних, наведених на рис. 1.3, слідує, що дизелі з нерозділеним камерами згоряння (КЗ), що працюють на етанолі, мають термічний ККД п на 20-35% вище, ніж бензинові двигуни [9, 11]. У той же час, цей спирт має низку недоліків, які перешкоджають його широкому використанню в якості палив для дизелів. Це, в першу чергу, його поганасамовоспламеняемость (низька цетанове число - ЦЧ).

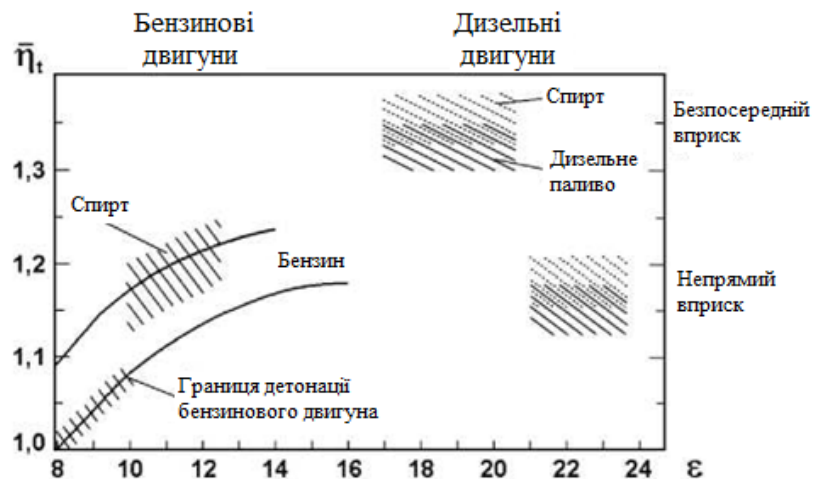


Рисунок 1.4. Відносна термічна ефективність використання нафтових палив і найпростіших спиртів в бензинових і дизельних двигунах: відносний термічний ККД (за одиницю прийнятий термічний ККД бензинового двигуна зі ступенем стиснення $\epsilon = 8$)

При організації процесу згоряння найпростіших спиртів в циліндрах дизеля виникає проблема їх займання, оскільки ці спиртові палива мають низькі цетанові числа (Рис. 1.5). При цьому використовуються різні методи поліпшення займання нізкоцетанових спиртів. Для поліпшення займистості етанолу в дизелях використовуються збільшення ступеня стиснення, підвищення тиску наддуву, установка підігрівачів повітря на впуску, теплоізоляція деталей КЗ і ін. При цьому, найбільш поширеними способами

займання є займання етанолу від запальний дози нафтового дизельного палива (ДП), від свічки запалювання і з іспользоанія присадок до палива.

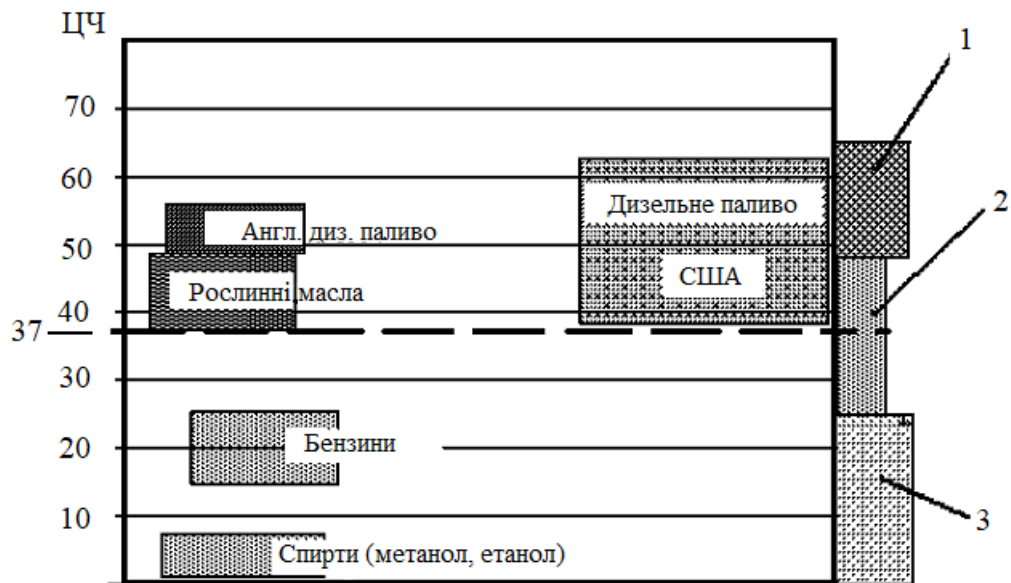


Рисунок 1.5. Застосування палив з різними цетанове число:

1 - нормальна робота дизеля; 2 - робота можлива, але зі зниженою паливною економічністю, підвищеною гучністю, з утрудненим холодним пуском; 3 - робота можлива тільки з присадками до палива і із засобами, що полегшують самозаймання і згорання палива

Подача етанолу і метанолу в дизель можлива декількома способами: вони можуть впорскуватися в чистому вигляді або в суміші з дизельним паливом в безпосередньо циліндри, подаватися у впускний трубопровід в рідкій фазі або у вигляді пари. Безпосереднє впорскування спирту в КЗ може здійснюватися за допомогою штатного паливного насоса високого тиску (ПНВТ) дизеля. Використовується також з безпосереднім впорскуванням спирту в КЗ у вигляді емульсії з дизельним паливом. Ефективними є системи з роздільним уприскуванням спирту і запальний дози ДП в циліндри дизеля. Можливе розкладання їх з отриманням синтез-газів (суміші монооксиду вуглецю CO і водню H) і подальшої його подачею в циліндри двигуна або використання спиртів як енергоносія для паливних елементів.

Таким чином, використання для живлення дизелів етанолу найбільш доцільно у вигляді екологічної добавки до нафтового дизельного палива. При цьому можливо два шляхи його застосування - або у вигляді емульсії нафтового ДП і звичайного (водомісткими) етилового спирту (тобто азеотропної суміші етанолу і води), або у вигляді суміші ДП і абсолютного (безводного) спирту. Реалізація цих двох напрямків використання етанолу істотно покращує екологічні показники дизеля. Це обумовлено наступними факторами. По-перше, як зазначено вище, наявність в молекулах етанолу атомів кисню сприяє зниженню шкідливих викидів з ВГ двигунів внутрішнього згорання. По-друге, висока теплота випаровування етанолу (870 кДж/кг у етанолу проти 230-250 кДж/кг у нафтового ДП) призводить до зниження максимальних температур згорання, і, як наслідок, до зниження викидів оксидів азоту. Ще одним фактором поліпшення показників токсичності ВГ дизелів є підвищення якості процесу сумішоутворення за рахунок низької температури кипіння етанолу (78,4 °С у етанолу проти 160-360 °С у нафтового ДП), що призводить до швидкого випаровування етанолу з сумішевого палива і додаткової турбулізації нафтового ДП за рахунок такого випаровування. Цей ефект, зазначений для широкого спектра емульгованих палив, сприяє і поліпшенню показників паливної економічності дизеля. У зв'язку з цим, необхідно розглянути показники, що характеризують паливну економічність і токсичність ВГ дизелів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕЧІЇ НАФТОВОГО І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В РОЗПИЛЮВАЧІ ДИЗЕЛЬНИХ ФОРСУНОК

2.1. Напрямки використання біопалив в транспортних дизелях

Як зазначено в першому розділі дисертації, що застосовуються в двигунах внутрішнього згоряння біопалива вельми різноманітні. До них можна віднести рідкі (спирти, ефіри, рослинні масла) і газоподібні (біогаз, біоводень) біопалива [11]. В якості окремої групи розглядаються сумішеві палива, що містять нафтові і альтернативні палива з добавками рідких біопалив. У цю ж групу можна включити емульговані палива - емульсії, що не змішуються рідин, наприклад, суміші нафтових дизельних палив або рослинних масел з водою, етанолом або іншими спиртовими паливами [2, 7, 8, 13, 14].

На рис. 2.1 представлена залежність кінематичної в'язкості емульсій рапсового масла і етилового спирту від концентрації етанолу в суміші.

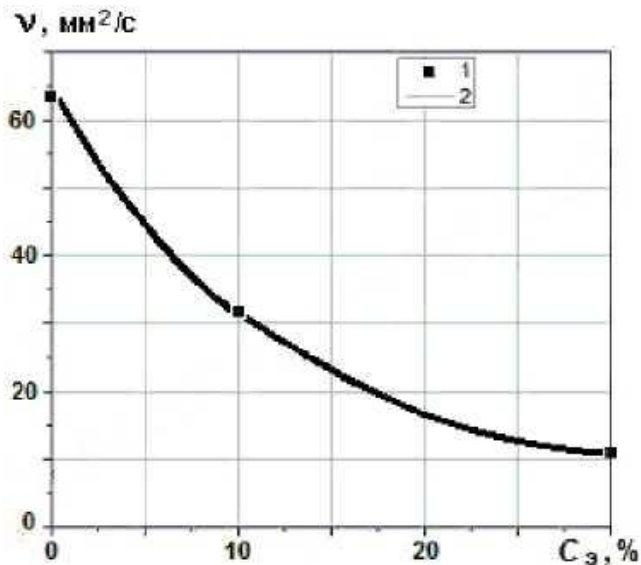


Рисунок 2.1. Залежність кінематичної в'язкості емульсії ріпакової олії і етанолу від концентрації етанолу в емульсії при 20 °С: експериментальні точки (1); апроксимаційна залежність (2)

Проведені дослідження вязкостних характеристик багатокомпонентних і емульгованих палив підтвердили можливість їх використання в дизелях. Отримані формули для вязкостних характеристик розглянутих палив можуть бути використані при виборі доцільного складу таких палив, зокрема, при розрахункових дослідженнях течії палива в елементах системи подачі палива. При цьому найбільший інтерес викликає протягом палива в розпилювачі форсунок.

Обґрунтування доцільності моделювання течії палива в проточній частині розпилювача форсунки

Одним з найбільш ефективних методів задоволення діючих і перспективних вимог до показників токсичності ВГ є вдосконалення процесів розпилювання палива і сумішоутворення [12]. Поліпшення якості протікання цих процесів може бути досягнуто шляхом застосування альтернативних палив. При цьому перспективно використання сумішевих та емульгованих палив, підбором складу яких можна забезпечити задані фізико-хімічні властивості моторного палива, і, тим самим, цілеспрямовано впливати на перебіг процесів розпилювання палива і сумішоутворення.

Необхідність подальшого вдосконалення процесів розпилювання палива і сумішоутворення відзначена в багатьох опублікованих роботах [7, 10, 15]. Причому, при різних способах сумішоутворення до параметрів вприскування і розпилювання палива пред'являють різні вимоги, які і визначають конструкцію топливоподающей системи, і, зокрема, форсунок. Найбільш жорсткі вимоги до процесу подачі палива відносяться до дизелів з об'ємним і об'ємно-плівковим сумішоутворенням, які отримали в даний час найбільш широке поширення на транспорті і в сільськогосподарській техніці. Це пояснюється тим, що смесеобразование в таких дизелях характеризується малим часом його проведення (30-40 градусів п.к.в.) і, як наслідок, неоднорідністю складу

горючої суміші за часом і в обсязі КЗ. Тому основне значення при сумішоутворення мають процеси подачі палива і розпилювання палива.

Якість розпилювання палива визначається, в певну чергу, геометричними параметрами проточної частини розпилювачів форсунок і властивостями використовуваного палива. Це пояснюється особливостями течії палива по проточної частини розпилювача і його закінчення через розпилюючі отвори. У системах подачі палива розділеного типу паливо від ПНВТ надходить у форсунку, впливає на голку 1 (Рис. 2.2, а), піднімаючи її, протікає через що утворився між голкою 1 і корпусом 2 кільцевої зазор 3 і надходить у порожнину 4 під голкою 3, де встановлюється тиск впорскування $p_{впр}$. Під цим тиском паливо і надходить в розпилюючий отвір 5 форсунки. Безпосередньо перед входом в розпилюючий отвір лінії струму палива викривляються (Рис. 2.2, б), причому, їх кривизна збільшується від осі отвору до його периферії. В результаті виникає нерівномірне поле розподілу тисків і швидкостей потоку. При цьому мінімальні тиску (і максимальні швидкості) досягаються в периферійних ділянках потоку, де локальні тиску можуть виявитися нижче тиску насичених парів палива. Характерно, що відразу за вхідним перерізом розпилює отвори потік палива звужується і виникає вихровий протягом палива (відрив, зона А на Рис. 2.2, б). Тут зароджуються і наростають кільцеві вихори, потім частково розпадаються і захоплюються паливом. У цьому нестационарному перебігу виникають пульсації тиску і швидкостей в зоні відриву, що поширюються на весь потік палива в розпилюють отворі. В результаті зародилися біля вхідних кромки розпилює отвори вихори, призводять до посилення обурення потоку палива в цьому отворі, який надає вплив на подальший розпад струменя палива. Але на ступінь турбулізації струменя розпилюють палива впливає не тільки характер перебігу палива в розпилюють отворі форсунки, а й обурення потоку палива, що виникають при його перебігу в кільцевому каналі між корпусом і голкою розпилювача (тобто в кільцевому зазорі 3 на Рис. 2.2, а). Тому форма ліній струму, ступінь стиснення

потоків палива (найменший діаметр стиснення струменя d_c в перерізі x , довжина ділянки d_c , Рис. 2.2, б), розміри зони відриву, турбулізація потоку палива на виході з розпилює отвори, параметри струменя (її довжина L , ширина B , кут розкриття β), обмеженість розпилювання палива залежать від геометричних параметрів проточної частини розпилювача форсунки, а також від властивостей палива - його щільності, в'язкості, поверхневого натягу, тиску насичених парів і ін.

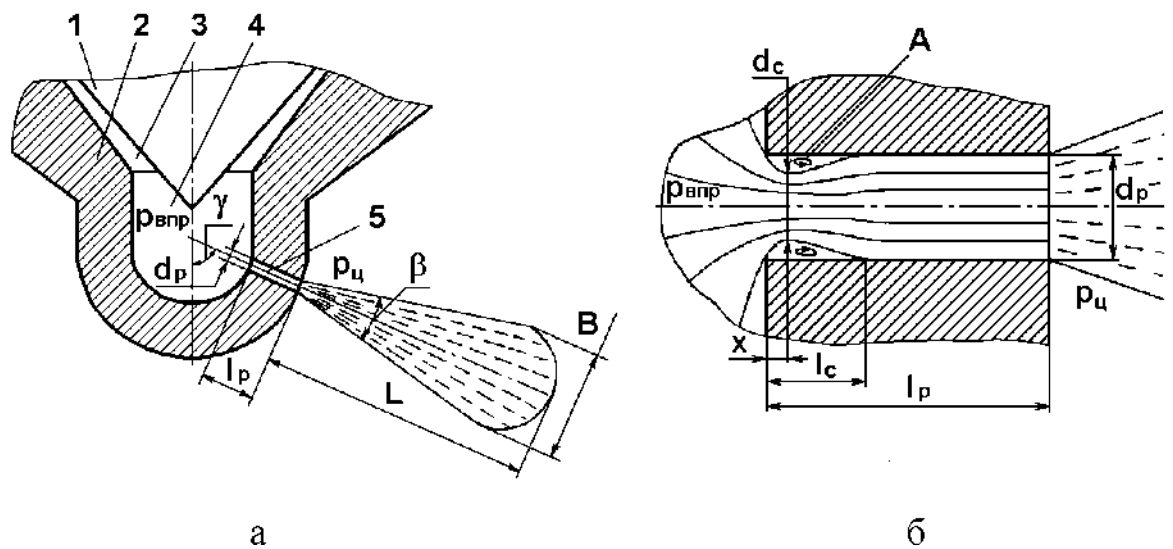


Рисунок 2.2. Схема розпилювача форсунки з геометричними характеристиками струменів палива, що розпилюється (а) і схема течії палива що розпилюється, по отвору форсунки (б)

В даний час в якості одного з основних напрямків вдосконалення робочого процесу дизелів з метою досягнення необхідних показників паливної економічності та токсичності ВГ розглядається підвищення ефективності сумішоутворення шляхом інтенсифікації подачі палива, тобто підвищення тиску впорскування $p_{впр}$. Збільшення тиску впорскування покращує процес сумішоутворення - зростає довжина струменів розпилюють палива, підвищується їх турбулізація, розпад струменя палива починається безпосередньо у розпилює отвори. Ці фактори призводять до поліпшення якості розпилювання палива. За даними роботи при збільшенні тиску впорскування

палива $p_{впр}$ системою типу *Common Rail* з 60 до 180 МПа довжина струменів палива збільшується з 18 до 23 см (на момент часу $t = 2,0$ мс після початку уприскування).

Основною метою підвищення тиску впорскування є підвищення турбулізації струменів розпилюють палива і поліпшення показників дрібноту розпилювання. Але, слід зазначити, що максимальні тиску впорскування палива в серійно випускається топливоподающей апаратурі вже перейшли рубіж $p_{впр тах} = 150$ МПа. При такому досягнутому рівні тисків впорскування доцільно реалізувати і інші заходи, що поліпшують якість розпилювання палива і сумішоутворення. Серед цих заходів слід виділити використання альтернативних палив, зокрема, емульгованих палив [10].

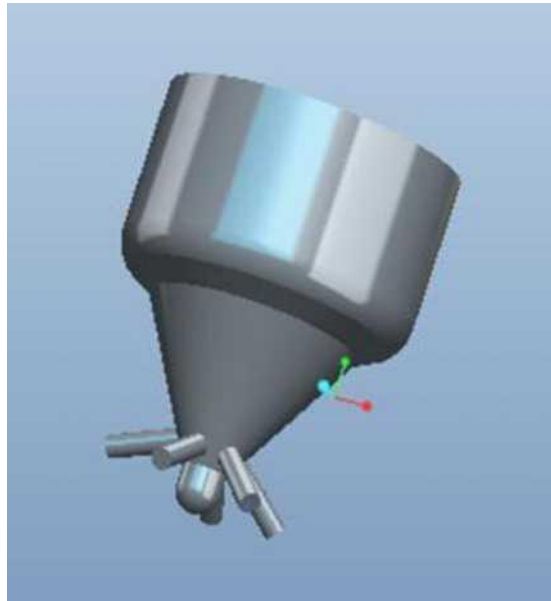


Рисунок 2.3. Розрахункова схема проточної частини розпилювача АЗП, встановленого в форсунки типу ФДМ-22

При розрахункових дослідженнях проведено моделювання стаціонарного течії нафтового ДП і емульсії 70 % РМ і 30 % ЕС в проточній частині розпилювача при максимальному підйомі голки форсунки $I_{і тах} = 0,32$ мм (проливання розпилювача, але при підвищеному тиску). Тиск на вході в

розрахункову область прийнято рівним $p_{\text{палив.вх}} = 51,5$ МПа, що відповідає тиску в процесі подачі палива серійної паливної системи дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11 / 12,5) [10]. Температура палива прийнята постійною і рівною $t = 40$ °С. Для обмеження часу розрахунку розглянута симетрична геометрія елементу проточна частина розпилювача з одним розпилюючим отвором (отвір № 2), представлена на Рис. 2.3, а.

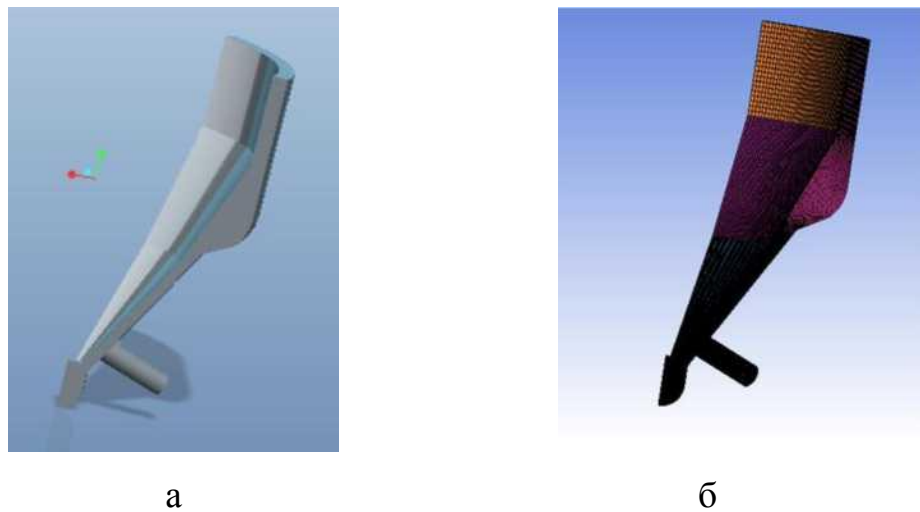


Рисунок 2.3. Прийнята геометрія елементу проточна частина розпилювача АЗПІ з одним розпилюючим отвором (а) і розбивка на елементи (сітка) прийнятої геометрії проточної частини (б)

На першому етапі досліджень моделювалося стаціонарне протягом нафтового дизельного палива (ДП) марки Л (літнє) по ГОСТ 305-82 в проточній частині розпилювача АЗПІ. Паливо вважалось нестисливим. Моделювання течії палива в розпилювачі проведено при постійному тиску на вході в розрахункову область $p_{\text{палив.вх}} = 51,5$ МПа і при двох тисках на виході з розрахункової області (на виході з розпилює отвори). У першому випадку тиск на виході становило $p_{\text{палив.вих}} = 0,1$ МПа (впорскування в атмосферу), а в другому – $p_{\text{палив.вих}} = 8,878$ МПа, що відповідає тиску в камері згоряння дизеля в момент початку впорскування. Це тиск визначено для дизеля Д- 245.12С з використанням ПК Дизель-РК, розробленого в МГТУ ім. Н.Е. Баумана проф. А.С. Кулешовим.

Перед дослідженнями проведено побудова розрахункової сітки. Слід зазначити, що точність розрахункової моделі сильно залежить від розмірів сітки. При розбивці проточної частини розпилювача на відносно великі елементи необхідна точність розрахунків не забезпечується. Це ілюструється отриманими при розрахунку значень масової витрати палива, представленим на Рис. 2.4 (дані отримані при розмірах елементів сітки 0,06 мм; 0,05 мм; 0,04 мм; 0,03мм; 0,02 мм і 0,15 мм). З цих даних випливає, що прийнятна точність розрахунку досягається при розмірах елементів сітки менше 0,04 мм. У міру зменшення розмірів елементів сітки точність помітно збільшує, але при цьому значно зростає і тривалість розрахунку. При розмірі елементів сітки менше 0,02 мм значення масової витрати палива майже не залежить від цього розміру. При цьому для подальшого моделювання мінімальний розмір елементів сітки прийнятий рівним 0,02 мм, а максимальний - 0,04 мм. Побудована за даних допущених сітка показана на Рис. 2.3, б. Вона дозволяє забезпечити достатньо високу точність розрахункових досліджень.

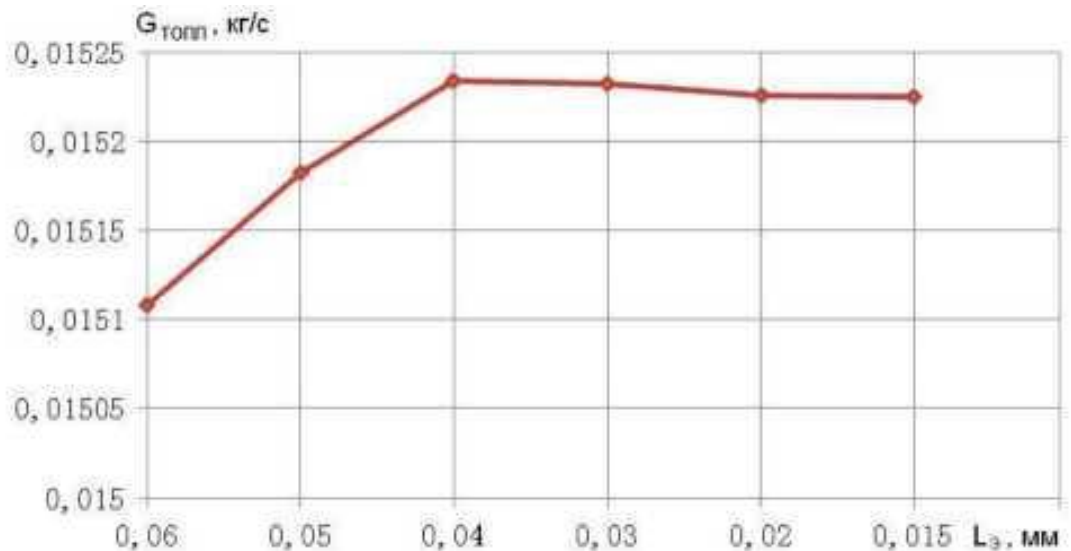


Рисунок 2.4. Залежність годинної витрати палива $G_{\text{палив}}$ через розпилювач форсунки від розмірів елементів сітки L_e , яка описує розрахункову область – проточну частину розпилювача форсунки

Методи вирішення проблем використання етанолу в якості моторного палива для дизелів

При використанні етанолу в якості моторного палива для дизелів виникає ряд проблем, обумовлених, в основному, істотними відмінностями фізико-хімічних властивостей нафтового дизельного палива і етилового. Серед цих проблем слід виділити проблеми подачі етанолу в КЗ дизеля, його займання в камері згоряння, зниження ресурсу деталей паливної апаратури дизеля, що подає спиртове паливо в КЗ.

Як зазначено, можливі різні способи подачі етанолу в циліндри дизеля: воно може впорскуватися в чистому вигляді або у складі спирто-паливної суміші (емульсії) безпосередньо в циліндри, подаватися у впускний трубопровід в рідкій фазі або у вигляді пари.

Результати досліджень роботи дизелів фірми *Mercedes - Benz* (Німеччина) на біоетанолі. Випробувані дизелі моделей *OM 352* і *OM 355/50*, що працюють на етанолі з присадкою *TE 6 DN*, виготовленої бразильською фірмою *Britanite und Explona* на основі триетиленглікольденітрата. Ця присадка поліпшує самозаймання етанолу до необхідного рівня при її добавці 4,5% (об'ємні частки). Результати досліджень свідчать про те, що при роботі зазначених дизелів на етанолі з присадкою знос деталей однаковий або навіть нижче зносів при роботі на ДП.

Іншим напрямком забезпечення займистості спиртових палив є їх займання від свічки запалювання. Результати випробувань чотирициліндрового тракторного дизеля фірми *Steyr* розмірності $S/D = 110/100$, адаптованого для роботи на біоетанолі. На дизелі була встановлена модернізована головка циліндрів з розміщеною в ній свічок запалювання. Крім того, була змінена геометрична форма КЗ в днище поршня, встановлені новий ПНВТ, форсунки і топливopодкачивающий насос підвищеної продуктивності. Дослідження показали, що дизель на етанолі працював практично бездимний. У порівнянні з роботою на ДП викид NO_x знижувався, що було результатом зменшення

температури внаслідок підвищеної теплоти випаровування етанолу. При роботі дизеля на етанолі викид монооксиду вуглецю CO виявився підвищеним, але однаковим з ДВС з іскровим запалюванням. Викид вуглеводнів CH_x був відносно високим, але він може бути радикально знижений при установці окисного нейтралізатора. Об'ємна витрата етанолу виявився в два рази більше, ніж витрата нафтового дизельного палива, що було наслідком більш низькою теплоти згорання етанолу, а питома приведена витрата етанолу - лише трохи вище витрати нафтового ДП.

Проведено ряд досліджень дизелів, що працюють на багатоконпонентних сумішах, що містять дизельне паливо, спирти, рослинні масла і інші компоненти. Результати випробувань дизеля, що працює на мікроемульсійній суміші дизельного палива, соєвого масла і спирту, проведених за програмою *EMA (Engine Manufacturers Association)*, призначеної для дослідження впливу альтернативних палив на довговічність дизелів. Відчувалося два дизеля моделі *4219 D* фірми *John Deere* (США) з робочим об'ємом $V_h = 3,6$ л і ступенем стиснення $s = 16,3$. Дизелі мали систему турбонаддува і потужність $N_e = 41,8$ кВт при $n = 2200$ хв⁻¹. Один з них працював на ДП, а інший на експериментальному мікроемульсійній паливі марки *SNI - Shipp Nonionic*, розробленому фірмою *Shipp Implement Co*. Паливо містило 50 % (об.) ДП, 25 % соєвого масла, 20 % бутанолу та 5 % етанолу. В'язкість цього палива становила $\nu = 4,03$ мм²/с при ЦЧ = 34,7. Після напрацювання 200 годин параметри дизеля, що працює на ДП, не змінилися в порівнянні з початковими, а в дизелі, який працював на паливі *SNI*, значення N_e і p_e знизилися на 5 %. Після 200 годин роботи в ньому виявлені відкладення нагару на розпилювачі форсунок і зменшення діаметра соплових каналів. За більшістю показників паливо *SNI* може бути використано для досліджуваного дизеля. Однак надійність його роботи обмежена коксуванням форсунок і погіршенням якості розпилювання палива, наслідком якого є зниження N_e на 5 %. Результати випробувань зіставлені з даними випробувань дизеля аналогічного класу моделі *4331* фірми

Allis - Chalmers, який працював на суміші 75 % ДП і 25 % рослинної олії. Після 200 годин роботи цього дизеля відзначено значно більшу закоксовуваність розпилювачів. Відзначено, що наявність спиртів в паливній суміші сприяє очищенню голок і каналів розпилювача.

Проводяться роботи по використанню етанолу в якості палива для дизелів і в нашій країні. При цьому використовується різна паливоподаючі апаратура (випробовувався дизель типу Д21А1 (2Ч10,5/12) при його роботі на етанолі, що подається в КЗ за допомогою ПНВТ і штатних форсунок, а запальний доза ДП впорскувалася в циліндри додатковими ПНВТ і форсунками (Рис. 2.5).

На режимі з частотою обертання колінчастого вала $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ витрата ДП склав $S_{\text{ДП}} = 3,80 \text{ кг/ч}$, а сумарний витрата палива при роботі двигуна на етанолі виявився рівним $S_{\text{T2}} = 4,65 \text{ кг/год}$.

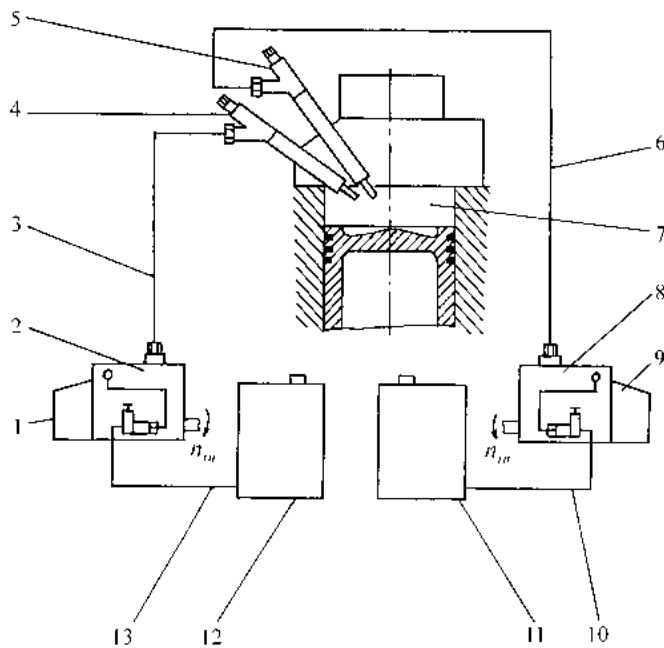


Рисунок 2.5. Схема системи подачі в КЗ дизеля етанолу і запальної дози ДП: автоматичні регулятори (1, 9); ПНВТ для подачі ДП і етанолу (2, 8); паливопроводи високого тиску (3, 6); форсунки для впорскування ДП і етанолу (4, 5); камера згоряння (7); паливопроводи низького тиску (10, 13); баки з етанолом і ДП (11, 12)

На режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ці витрати склали відповідно $S_{\text{ДП}} = 5,50 \text{ кг/год}$ і $S_{\text{Г2}} = 8,51 \text{ кг/год}$. При цьому при роботі на етанолі витрата запального ДП не перевищував $S_{\text{ДТ}} = 1,0 \text{ кг/год}$ (Рис. 2.6). Таким чином, за годинною витратою робота на етанолі з запальний дозою ДП поступається роботі на дизельному паливі.

На режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ на дизельному паливі ефективний ККД дизеля дорівнював $\eta_e = 0,275$, а на етанолі з запальний дозою ДП - $\eta_e = 0,325$ (збільшення на 18,2 %).

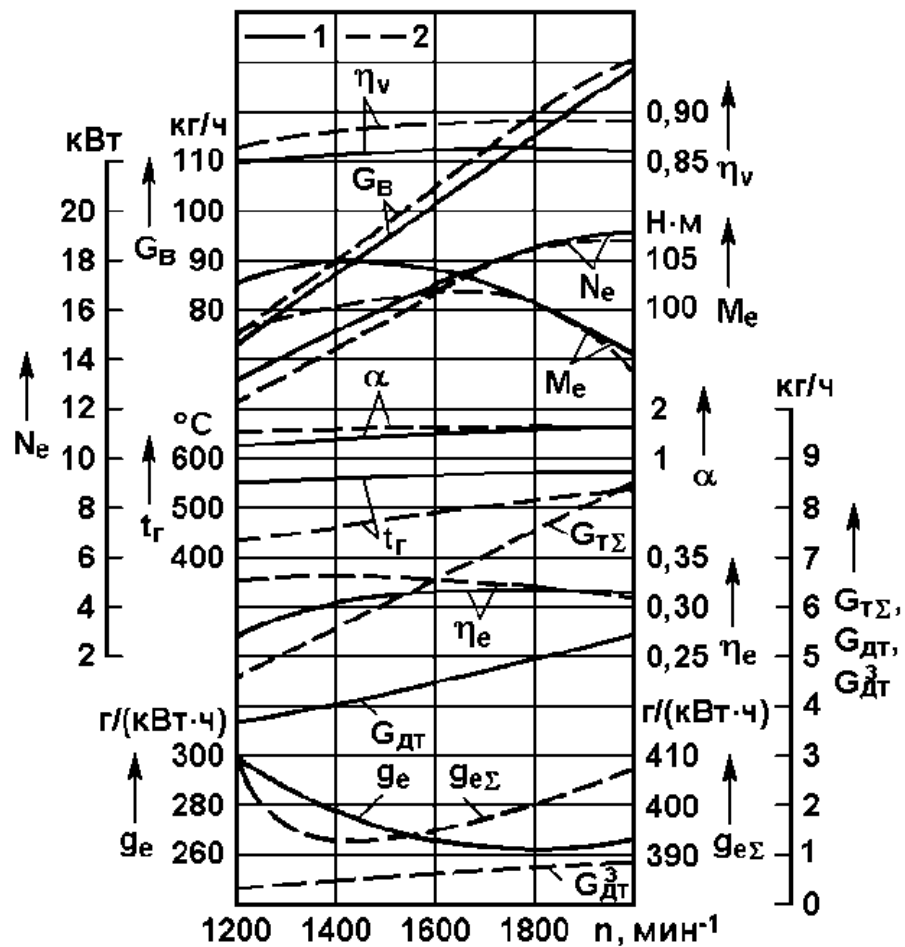


Рисунок 2.6. Показники дизеля типу Д21А1 при його роботі на режимах ВШХ на дизельному паливі (1) і етанолі з запальний дозою ДП (2)

Однак при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ значення η_e для дизеля, що працює на ДП, дорівнювало 0,318, а на етанолі з запальним ДП - лише 0,315. При роботі дизеля на етанолі у всьому діапазоні зміни частоти обертання « температура ВГ

була помітно менше, ніж при роботі на ДП. При $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і роботі на ДП коефіцієнт наповнення дорівнював $\eta_n = 0,850$, а при роботі на етанолі - $\eta_n = 0,865$. З ростом n до 2000 хв^{-1} значення η виявилися рівними відповідно $0,860$ і $0,890$. Таке зростання коефіцієнта наповнення обумовлений більшою теплотою випаровування етанолу.

Показники токсичності ВГ дизеля типу Д21А1 представлені на рис. 2.7. При роботі на етанолі з запальною дозою ДП у всьому діапазоні досліджених швидкісних режимів утримання в ВГ оксидів азоту C_{NO_x} виявилось істотно нижче, ніж при роботі на дизельному паливі. Так, якщо в дизельному циклі концентрація C_{NO_x} зменшувалася від 725 ppm на режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ до 630 ppm на режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, то в двопаливного циклі - від 610 ppm на режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ до 460 ppm на режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$. Таким чином, на режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ різниця в емісії NO_x склала $15,9 \%$, а на режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ - $27,0 \%$.

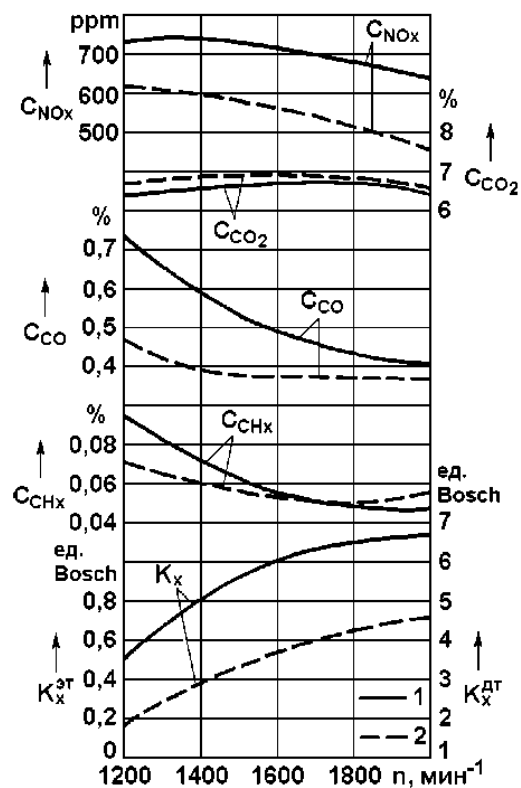


Рисунок 2.7. Показники токсичності ВГ дизеля типу Д21А1 при його роботі на режимах ВСХ на дизельному паливі (1) і етанолі з запальною дозою ДП (2)

При роботі дизеля на режимах ВШХ і зміні швидкісного режиму утримання в ВГ діоксиду вуглецю C_{CO_2} (вуглекислого газу) змінювалося незначно і порівняно слабо залежало від виду застосовуваного палива. У дизельному циклі концентрація C_{CO_2} змінювалася від 6,40 % при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ до 6,42 % при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, а в двопаливному циклі - відповідно від 6,65 до 6,55 %. Таким чином, робота на етанолі з запальною дозою ДП супроводжувалася дещо більшою емісією вуглекислого газу: на 3,9 % при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і на 2,0 % при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$. У дизельному циклі вміст монооксиду вуглецю в ВГ C_{CO} знижувалося з 0,73 % при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ до 0,41 % при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, а в двопаливному циклі - відповідно від 0,47 до 0,37 %. Тобто на першому режимі зниження C_{CO} склало 35,6 %, а на другому - 9,8 %. У дизельному циклі при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ концентрація в ВГ незгорілих вуглеводнів C_{CH_x} дорівнювала 0,094 %, а при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ - 0,047 %. У двопаливному циклі ці величини були рівні відповідно 0,071 і 0,055 %. Таким чином, на режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ перевага по емісії CH_x має етанол з запальний дозою ДП (на 25,4 %), а на режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ - дизельне паливо (на 14,5 %).

При роботі на дизельному паливі зміст в ВГ сажі (димність ВГ K_x) змінювалися з 3,5 од. за шкалою *Bosch* на режимі з $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ до 6,6 од. на режимі з $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, а на етанолі відповідно з 0,16 до 0,70 од. Тобто перехід дизеля на етанол з запальний дозою ДП зменшував емісію сажі в 21,9 рази при $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і в 9,4 рази при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$. Таким чином, дослідження свідчать про те, що реалізація двопаливної роботи - на етанолі з запальний дозою ДП дозволила помітно поліпшити показники токсичності ВГ досліджуваного дизеля, в першу чергу за викидами сажі, монооксиду вуглецю і оксидів азоту.

Подача етанолу і дизельного палива в КЗ дизеля через одну форсунку досліджена в ГТУ «МАДИ» [11]. Розроблена система подачі палива включає форсунку, в яку одночасно подається етанол і ДП, які змішуються в порожнині перед голкою форсунки. При цьому в першій фазі впорскування забезпечується переважна подача ДП (до 80 %), а в другій фазі подача сумішевого палива в КЗ

відбувається з переважним вмістом етанолу (до 60 %). Випробування дизеля Д-120 (2Ч10,5/12), укомплектованого цієї паливною системою, підтвердили її ефективність при поліпшенні показників токсичності ВГ. Зокрема, на режимі максимального крутильного моменту димність ВГ знизилася в 1,5-2,0 рази в порівнянні з роботою на чистому ДП.

ВИСНОВКИ

В даний час в якості одного з основних напрямків вдосконалення робочого процесу дизелів з метою досягнення необхідних показників паливної економічності та токсичності ВГ розглядається підвищення ефективності сумішоутворення шляхом інтенсифікації подачі палива, тобто підвищення тиску впорскування

При використанні етанолу в якості моторного палива для дизелів виникає ряд проблем, обумовлених, в основному, істотними відмінностями фізико-хімічних властивостей нафтового дизельного палива і етилового. Серед цих проблем слід виділити проблеми подачі етанолу в КЗ дизеля, його займання в камері згорання, зниження ресурсу деталей паливної апаратури дизеля, що подає спиртове паливо в КЗ.

Подача етанолу і метанолу в дизель можлива декількома способами: вони можуть впорскуватися в чистому вигляді або в суміші з дизельним паливом в безпосередньо циліндри, подаватися у впускний трубопровід в рідкій фазі або у вигляді пари. Безпосереднє впорскування спирту в КЗ може здійснюватися за допомогою штатного паливного насоса високого тиску дизеля. Використовується також з безпосереднім впорскуванням спирту в КЗ у вигляді емульсії з дизельним паливом. Ефективними є системи з роздільним уприскуванням спирту і запальній дози ДП в циліндри дизеля. Можливе розкладання їх з отриманням синтез-газів (суміші монооксиду вуглецю CO і

водню Н) і подальшої його подачею в циліндри двигуна або використання спиртів як енергоносія для паливних елементів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Использование природного газа, спиртов и топлив на их основе в дизельных двигателях / Лиханов В.А., Лопатин О.П. Киров, 2018.
2. Показатели процесса сгорания дизеля при работе на этиловом спирте и рапсовом масле на номинальной частоте вращения коленчатого вала / Лиханов В.А., Арасланов М.И., Козлов А.Н. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 122-126.
3. Показатели процесса сгорания дизеля при работе на этиловом спирте и рапсовом масле / Лиханов В.А., Арасланов М.И., Козлов А.Н. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 126-130.
4. Влияние кислорода на образование оксидов азота в цилиндре дизеля 2ч 10,5/12,0 при работе на альтернативных топливах / Лиханов В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. В сборнике: Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы XI Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». 2018. С. 126-132.
5. Экономическая оценка использования альтернативных топлив / Лиханов В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. В сборнике: Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы

XI Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». 2018. С. 133-140.

6. Исследование выбросов оксидов азота при работе двигателя на альтернативных топливах / Лиханов В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 166-170.

7. Снижение выбросов оксидов азота при использовании альтернативных топлив / Лиханов В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 170-174.

8. Особенности процесса топливоподачи дизеля при работе на альтернативных топливах в зависимости от изменения нагрузки / Лиханов В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 237-241.

9. Работа дизеля на альтернативных топливах / Лиханов В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. В сборнике: Динамика механических систем. материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. Казанский государственный аграрный университет; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2018. С. 241-246.

10. Лиханов В.А., Полевщиков А.С. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на этаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. -Киров: Вятская ГСХА, 2011. -146 с.
11. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. -М.: МАДИ (ТУ), 2000. -311 с.
12. Куцевалов, В. А. Упрощенная математическая модель выгорания топлива в цилиндре дизеля [Текст] / В. А. Куцевалов и др. // Двигателестроение. — 1988. — № 8. — С. 6–8.
13. Аналіз способів охолодження наддувочного повітря в двигунах / А.А. Андреев, О.В. Силіванов // Новітні технології енергомашинобудування та енергозбереження: студентська науково-технічна конференція. – Херсон: ХФ НУК, 2015.
14. Пирисунько, М.А. Використання методу озонування наддувочного повітря дизельного двигуна для покращення його екологічних показників / М.А. Пирисунько, І.Ю. Шевчук, І.Г. Гмиря // Priority directions of science development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2020. Pp. 218-220. URL: <http://sci-conf.com.ua>.
15. Pyrysunko, M. Using the charge air ozonation to improve internal combustion engines environmental performance / M. Pyrysunko, I. Shevchuk, I. Hmyria // IV International Scientific and Practical Conference “Scientific achievements of modern society”, Liverpool: Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua”. – 2020.

АНОТАЦІЯ

Пильна увага до альтернативних палив обумовлено швидким зростанням світової автомобілізації і необхідністю його безперебійного забезпечення моторними паливами. Лідером з розвитку альтернативної енергетики є США, яке суттєво випереджають інші країни по використанню альтернативних моторних палив. При цьому необхідно зазначити, що в США споживання спиртних палив значно випереджає споживання інших альтернативних палив - пропан-бутанових сумішей (зрідженого вуглеводневого газу), компримованого природного газу і зрідженого природного газу.

Серед альтернативних енергоносіїв, які використовуються на транспорті, одними з найбільш перспективних є спирти і палива, вироблені на їх основі. Як зазначено вище, спиртові палива можна отримати з будь-якого вуглеводневої сировини - як органічного (сільськогосподарські культури, рослинні відходи, водорості та ін.). Так і мінерального (природний газ, вугілля, горючі сланці). Серед переваг спиртових палив можна відзначити наявність в їх молекулах атомів кисню, що сприяють зниженню шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згорання.

Актуальність проблеми. Етанол використовується в якості палив в двигунах з примусовим займанням. Слід, однак, відзначити, що спалювання спиртних палив, причому з кращою паливною економічністю, можливо і в дизелях. Дизелі з нерозділеними камерами згорання, що працюють на етанолі, мають термічний ККД на 20-35% вище, ніж бензинові двигуни. У той же час, цей спирт має низку недоліків, які перешкоджають його широкому використанню в якості палив для дизелів. При організації процесу згорання найпростіших спиртів в циліндрах дизеля виникає проблема їх займання, оскільки ці спиртові палива мають низькі цетанові числа.

Науково-прикладною задачею, що вирішується в роботі, є поліпшення екологічних показників дизельних двигунів шляхом використання альтернативних палив.

Об'єктом дослідження експлуатаційні та екологічні показники автомобільного двигуна при використанні альтернативних палив.

Предметом дослідження аналіз роботи автомобільних двигунів на різних режимах палива.

Метою роботи є покращення екологічних показників автомобільних двигунів за рахунок використання альтернативних палив.

Основні задачі дослідження:

- провести літературний аналіз щодо використання альтернативних видів палива для покращення характеристик двигуна;
- визначити ефективність використання альтернативних видів палива на техніко-економічні та екологічні показники автомобільного двигуна.

Методи дослідження. Використано системний підхід визначення впливу використання різних видів палива на параметри робочих процесів двигунів.

Основні наукові результати та їхня новизна:

1. Установлено закономірності впливу різних видів альтернативних палив на екологічні показники дизельних двигунів.
2. Проаналізовано вирішення проблеми використання етанолу в якості моторного палива для дизельних двигунів.

Достовірність результатів дослідження забезпечена коректною постановкою науково-прикладної задачі, позитивними результатами порівняльного аналізу запропонованих та існуючих технічних рішень.

Конкретна особиста участь авторів у проведенні аналізу та установлення впливу використання різних видів палива на екологічні показники дизельного двигуна, врахування отриманих закономірностей при вирішенні проблем використання етанолу в якості палива для дизелів.

Апробація роботи. Доповіді на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Наукові публікації. Результати наукової роботи представлені у наступних наукових публікаціях:

- Використання методу озонування наддувочного повітря дизельного двигуна для покращення його екологічних показників /
 // Priority directions of science development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2020. Pp. 218-220. URL: [http://sci-conf.com.ua.](http://sci-conf.com.ua;);

- Using the charge air ozonation to improve internal combustion engines environmental performance /

// IV International Scientific and Practical Conference “Scientific

achievements of modern society”, Liverpool: Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua”. – 2020. Pp. 297-301.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 2 розділів та висновків. Обсяг роботи становить 31 сторінок машинописного тексту, 13 рисунків, бібліографія з 15 найменувань.

Ключові слова: відпрацьовані гази, двигун внутрішнього згорання, оксиди азоту, сажа.