

ляются исследования рабочих параметров масляного насоса и фильтра, используемых на ВОД. Регистрация сигналов осуществляются с помощью диагностического комплекса «Autoscanner». Диагностический комплекс представляет собой 64-канальный осциллограф, подключаемый к персональному компьютеру. Данный стенд для исследования рабочих параметров элементов системы смазки предоставляет возможности в достаточном объеме осуществлять имитацию условий эксплуатации элементов участка подачи и очистки масла и осуществлять их регистрацию как визуально, так и с помощью цифровых датчиков и диагностического комплекса «Autoscanner», цифровых осциллографов или других измерительных средств, имеющих возможность регистрации и хранения полученных данных.

**Ключевые слова:** судовые двигатели внутреннего сгорания; система смазки; моторное масло; рабочие параметры.

#### STAND FOR RESEARCH PARAMETERS OF ELEMENTS OF LUBRICATION SYSTEMS OF HIGH-SPEED INTERNAL COMBUSTION ENGINES

*D.V. Kurnosenko, V.P. Savchuk, E.V. Belousov, A.K. Dzygar, A.I. Kotov*

The issues of studying the operating parameters of the elements of lubrication systems for high-speed internal combustion engines preceded the creation of the stand. The engine lubrication system D-246.4 was chosen as a prototype. With the help of this stand it became possible to study the lubrication system for the following characteristics: change the performance of the engine oil pump D-246.4, change and control the engine oil temperature, control the pressure drop on the oil filter, control the engine oil flow, throttle oil at the inlet to the oil pump and on the conditional supply line to the friction units, measuring the vacuum of the system on the suction of the oil pump and recording the parameters of the pulsation of the oil pressure generated by the oil pump. To build mathematical models of the components in the lubrication systems of marine internal combustion engines there is a need to determine their operating parameters. In real operating conditions, such measurements cannot be obtained due to the lack of the necessary test equipment (TE) and the possibility of its installation. The authors describe in detail all the components of the stand for studying the parameters of the elements of lubrication systems of high-speed internal combustion engines, their technical characteristics, describes the diagnostic complex, which recorded the results of research, the results of measuring engine oil pressure pulsation. The stand is used to study the operating parameters of the oil pump and filter used for water. Signals are registered using the Autoscanner diagnostic system. The diagnostic complex is a 64-channel oscilloscope that is connected to a personal computer. This stand for studying the operating parameters of the elements of the lubrication system provides sufficient opportunities to simulate the operating conditions of the elements of the supply and purification of oil and register them both visually and with digital sensors and diagnostic system Autoscanner, digital oscilloscopes or other measuring instruments capable of recording and storing the received data.

**Keywords:** marine internal combustion engines; lubrication system; engine oil; operating parameters.

УДК 620.925:58

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.11

*О.І. Грабовенко, С.М. Доценко, В.В. Нестеренко, І.А. Швець*

#### ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ В ЯКОСТІ ПАЛИВА В СЕРЕДНЬООБЕРТОВОМУ ДИЗЕЛЬНОМУ ДВИГУНІ

*Маючи високу паливну економічність, дизельні двигуни визначаються відносно високим рівнем викидів шкідливих речовин, що негативно впливає на людей і навколишнє середовище. В перспективі деякі із Європейських країн планують відмовитися від використання двигунів, що працюють на дизельному паливі, після 2030 року. Одним із варіантів використання даного типу двигунів є перевід їх на альтернативні палива з відновлювальних джерел енергії - рослинних олій (рапсове, соняшникове і соєве). До переваг рослинних олій відносять те, що при попаданні на землю вони через пару тижнів розпадаються. Завдяки незначній кількості сірки в рослинних оліях у відпрацьованих газах двигуна практично відсутні оксиди сірки. До позитивних екологічних факторів можна віднести зниження викидів в атмосферу оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів які не згоріли (CH<sub>x</sub>) та сажі (C). Але необхідно відмітити, що використання палив на рослинній основі містить в собі проблеми, пов'язані із підготовкою палива, врахування його фізико-хімічних властивостей, правильною експлуатацією двигуна та використання орних земель для вирощування рослинних олій.*

*У статті представлені результати експериментальних досліджень щодо визначення ефективних показників при роботі на соєвій олії дизельного двигуна 6ЧН 26/34 виробництва «Первомайськдизельмаш», що входить до складу стаціонарного дизель-генератора ДГА-900 потужністю 900 кВт. Зазначений дизельний двигун з нерозділеною камерою згорання типу «Гесельман», газотурбінним наддувом та проміжним охолодженням наддувочного повітря. Більш в'язка соєва олія має кращі властивості з змащенням спряжених пар та вузлів двигуна, в результаті збільшується термін служби самого двигуна та паливного насоса високого тиску в середньому на 60%. Але більш в'язка соєва олія погіршує сумішоутворення, розпилювання та згорання палива. Пускові якості двигуна також погіршуються. Але при підвищенні температури в'язкість соєвої олії різко зменшується. Проаналізовано причини, що призвели до появи вищезазначених проблем.*

*Крім того, описано особливості та переваги когенераційної силової установки, що дає можливість отримати на виході дві форми корисної енергії – теплову і електричну. Застосування когенерації значно підвищує загальний коефіцієнт корисної дії установки, надає значні можливості для ефективної утилізації тепла та досягнення максимального економічного ефекту.*

**Ключові слова:** дизельний двигун; силова установка; соєва олія; паливна апаратура; температура відпрацьованих газів; максимальний тиск.

## Вступ

Завдання ефективного використання енергії в двигунах внутрішнього згоряння, отриманої з мінеральної сировини викопних джерел, при забезпеченні високого рівня екологічних показників силових установок, з часом не лише не втрачає своєї актуальності, а, навпаки, стає одним з пріоритетних. Особливої значимості це завдання набуває за умов відсутності таких викопних джерел на території держави, що має дефіцит енергії, або за відсутності у останньої технологій чи можливостей їх видобутку та переробки, а також через їх велику собівартість.

Якщо до цього додати проблеми пов'язані з нестабільною вартістю на ринку палив, отриманих в результаті переробки нафти, постає завдання пошуку шляхів щодо використання джерел енергії з невеликим рівнем матеріальних та людських витрат, що для багатьох підприємств є не тільки актуальним, а й життєво необхідним завданням. Тому виникають передумови для виробництва електричної та теплової енергії із альтернативних рідких палив [1] при наявності доступної сировини для їх виготовлення.

Найбільший ефект при цьому досягається із застосуванням когенерації [1,3], сутність якої полягає в тому, що вона є високоефективним способом утилізації прихованої хімічної енергії палива з отриманням на виході двох форм корисної енергії – теплової і електричної. Головна перевага силових установок, що реалізує вищезазначений принцип утилізації енергії палива перед тепловими електростанціями полягає в тому, що перетворення її відбувається з більшою ефективністю, внаслідок того що дана система дозволяє використовувати більш ефективно тепло, яке зазвичай просто безповоротно втрачається. В результаті цього знижується потреба в додатковій закупівлі енергії на величину виробленої теплової та електричної енергії, що сприяє зменшенню виробничих витрат.

Силові установки [1-3], що працюють на альтернативних паливах, (в тому числі і рослинного походження) для комбінованого виробництва електричної енергії і тепла були створені фахівцями ТДВ «Первомайськдизельмаш» на базі стаціонарних двигун - генераторів (ДГА) з утилізацією теплоти випускних газів, води з контуру охолодження двигуна, масла і газоповітряної суміші. Отримана таким чином теплота у вигляді гарячої води може подаватися в систему опалення будівель, або використовуватися в технологічних операціях і холодильних машинах. При цьому споживач в середньому на 1 кВт електричної потужності отримує до 1,3 кВт теплової енергії.

Якщо електричний ККД силових установок, що виробляє лише електричну енергію для режиму номінального навантаження сягає 38%, то загальний ККД цієї ж установки при виробництві двох видів енергії - електричної та теплової - може досягати до 90%. Таким чином, суттєво зростає ефект від утилізації теплової енергії палива, чим в результаті досягається максимальний економічний ефект установки від використання палива, в тому числі і альтернативного походження [3-5]. Тому ключовим моментом для споживача перед початком експлуатації силових установок є раціональний вибір моторного палива [4,6].

Основним видом моторного палива на даний момент є і залишається рідке паливо отримане в результаті видобутку та переробки нафти. Але, якщо врахувати, що з кожним роком викопні запаси нафти зменшуються, то наслідком цього є поступове збільшення не лише собівартості самого палива, але й енергії отриманої з нього. Необхідно відмітити, що використання моторного палива отриманого з нафти, шляхом його спалювання супроводжується викидом в атмосферу великої кількості токсичних речовин [5,6]. Серед них окремо треба виділити такі викиди як  $SO_2$ ,  $NO_x$  та різних форм вуглеводнів, що не пройшли стадію повного окислення. Крім того, у відпрацьованих газах двигуна працюючого на рідкому моторному паливі міститься значний відсоток  $CO_2$ , який потрапляючи в атмосферу сприяє збільшенню парникового ефекту.

## Актуальність проблеми що розглядається

Погляд науковців в галузі двигунобудування останнім часом прикутий до альтернативних палив [6-9]. Серед рідких палив альтернативного походження особлива увага приділяється паливам отриманим в ході переробки рослинної сировини, до переваг яких треба віднести: можливість відновлення запасів сировини, відносно дешевизну їх отримання, зберігання та переробки, а також можливість отримання значних обсягів сировини, достатніх для забезпечення власних потреб.

Застосування рослинних олій в якості альтернативи дизельному паливу має цілий ряд переваг. Так, рослинні олії мають виключно низький вміст сірки та ароматичних з'єднань, що означає практично повну відсутність у вихлопних газах оксидів сірки та канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів. У викидах міститься менша кількість незгорівших вуглеводнів [6,9], вони відносно нешкідливі для навколишнього середовища, так як при розливанні на ґрунт піддаються швидкому біологічному розкладанню, як і будь-який інший компонент рослинної сировини. Тому дослідження питання використання зазначених палив в ДВЗ є

актуальним завданням.

### Аналіз попередніх досліджень

Використання альтернативних палив рослинного походження дозволяє покращити екологічні показники двигунів [6,9]. Так в зазначених роботах відмічається суттєве зниження токсичних компонентів відпрацьованих газів (ВГ) і зокрема оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) при застосуванні рослинних олій або їх модифікацій. Зниження викидів  $\text{NO}_x$  є суттєвим і залежить від режиму роботи, складу та рівня дисперсності крапель розпиленого палива. Також серед факторів впливу на токсичність ДВЗ при застосуванні палив із рослинних олій необхідно відмітити конструктивні та регульовальні параметри паливної апаратури двигуна [4-6].

Також необхідно вказати на те, що використання рослинних олій в якості палива в силових енергетичних установках не дає можливості забезпечити техніко-економічні показники на рівні дизельного палива. Головним чинником тут виступає теплотворна здатність палива, яка у рослинного палива нижча ніж у дизельного на 10-15% [7,8]. Крім того використання таких палив пов'язане з додатковими витратами пов'язаними з процесами

підготовки палива [3-8], що також відображається на загальному ККД всієї установки. При контакті вказаних палив з робочими поверхнями деталей паливної апаратури мають місце проблеми описані в [9].

### Методика проведення випробувань

Випробування щодо ефективності використання соєвої олії [1,3] в якості палива проводились на стаціонарній установці промислового використання. Силовим агрегатом виступав дизельний двигун 6ЧН 26/34, що працює в складі серійного дизель-генератора ДГА-900 потужністю 900 кВт. Це двигун з безпосереднім впорскуванням палива в камеру згоряння нероздільного типу, газотурбінним наддувом та охолодженням наддувального повітря.

Дизель разом з генератором являв собою силову установку на спільному підрамнику, укомплектований системою підготовки та контролю параметрів палива (рис.1) та штатними контрольно-вимірними приладами контролю параметрів двигуна у відповідності з діючими технічними вимогами.

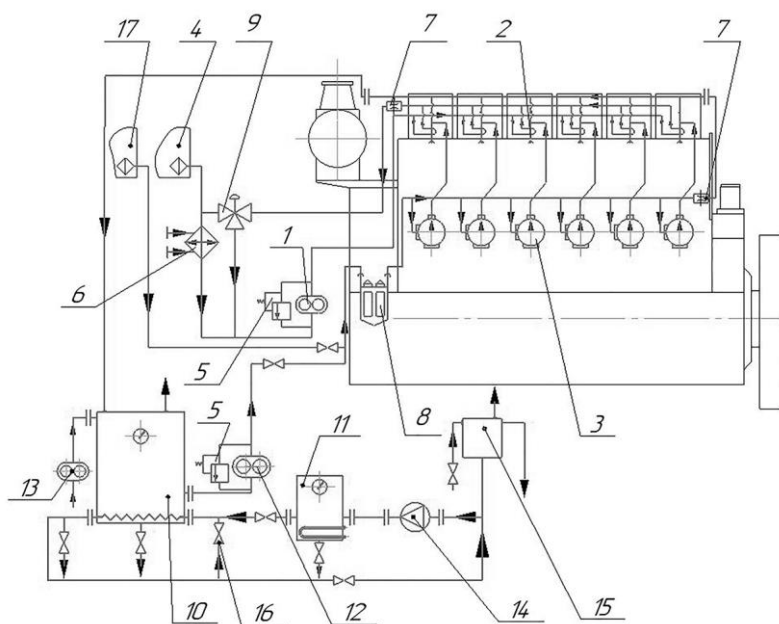


Рис. 1. Схема системи підготовки палива:

1 - насос підкачки палива; 2 - форсунка охолоджувана; 3 - паливний насос високого тиску; 4 - бак дизельного палива для охолодження форсунок; 5 - клапан редукційний; 6 - охолоджувач палива; 7 - дросель; 8 - фільтр тонкого очищення палива; 9 - регулятор температури; 10 - витратний бак рослинної олії; 11 - котел електричний; 12 - насос подачі палива до двигуна; 13 - насос подачі рослинної олії у витратний бак; 14 - насос водяний; 15 - бак розширювальний; 16 - вентиль запірний; 17 - витратний бак дизельного палива; 18 - термометр; 19 - вентиль запірний; 20 - витратний бак дизельного палива

Випробування були проведені згідно методики зняття навантажувальної характеристики на стандартному дизельному паливі та соєвій олії, при

номінальній частоті обертання колінчастого валу двигуна  $750 \text{ хв}^{-1}$ . На кожному режимі навантаження визначалися термодинамічні параметри на вході та

виході з циліндру та агрегату наддуву, максимальний тиск в циліндрі, параметри палива та ефективні параметри двигуна.

Для запуску та прогріву двигуна використовувалось дизельне пальне. Після цього відбувався перехід на споживання соєвої олії. Для забезпечення нормальної роботи паливної системи при роботі на соєвій олії, перед та під час запуску двигуна було задіяно систему паливо підготовки. Це дало можливість довести температуру палива перед паливним насосом високого тиску до 85 °С, що забезпечило прийнятний рівень її в'язкості для норма-

льної роботи паливного насоса високого тиску та форсунки. Паливо із соєвої олії підігрівалося в паливному баку, при цьому падіння температури при проходженні палива від бака до паливного насоса високого тиску становила 2 - 4°С.

Кут випередження подачі палива під час випробувань не змінювався.

В результаті було отримано масив значень для побудови вхідних та вихідних параметрів двигуна при роботі на соєвій олії та ДП по навантажувальній характеристиці. Отримані результати випробувань представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри ДГА-900 при роботі на соєвій олії і дизельному паливі

Найменування параметру	Розмірність	Результати замірів при роботі на				
		соєвій олії			Дизельне паливо	
1. Потужність дизель-генератора	%	50	75	100	100	
	кВт	453	675	903	900	
2. Температура повітря на вході в турбокомпресор	°С	22	22	23	23	
3. Температура випускних газів на виході із циліндрів	1- циліндр	390	405	430	395	420
	2- циліндр	400	420	445	400	450
	3- циліндр	370	400	425	405	430
	4- циліндр	370	400	430	400	440
	5- циліндр	400	420	435	410	450
	6- циліндр	390	410	430	390	425
4. Середня температура випускних газів по циліндрам	°С	387	409	433	400	
5. Температура випускних газів перед турбокомпресором	°С	430	480	530	520	
6. Температура випускних газів після турбокомпресора	°С	380	405	430	415	
7. Максимальний тиск згоряння по циліндрам	1- циліндр	7,8	9,4	11,2	10,6	10,6
	2- циліндр	7,8	9,4	11,2	11,0	11,0
	3- циліндр	7,5	9,2	11,2	11,0	11,0
	4- циліндр	7,5	9,0	10,8	10,7	10,7
	5- циліндр	7,6	9,1	10,8	10,8	10,8
	6- циліндр	7,5	9,0	11,0	10,6	10,6
8. Середній максимальний тиск згоряння по циліндрам	МПа	7,6	9,2	11,0	10,8	
9. Тиск наддувочного повітря у впускному колекторі	МПа	0,05	0,095	0,155	0,15	
10. Температура води на вході в охолоджувач наддувочного повітря	°С	28	28	29	28	
11. Температура палива перед паливним насосом високого тиску	°С	75	75	75	20	
12. Питома витрата палива (виміряна) дизель-генератора	г/кВт·год	280	259	252	221	

### Викладення основного матеріалу

Серед різноманіття альтернативних палив [6,9] рослинного походження, було обрано для випробувань соєву олію. Треба відмітити, що однією з важливих характеристик рослинного палива є його густина. Так, по її величині можна зробити попередні висновки щодо фракційного та хімічного складу палива, та щодо його теплотворної здатності. Так, якщо густина дизельного палива згідно

ДСТУ 8705:2017 становить 820-845 кг/м<sup>3</sup>, то густина соєвої олії становить 916-922 кг/м<sup>3</sup>. І при цьому вона не залишається сталою величиною, тому що залежить від температури. Так при температурі в 20 °С густина соєвої олії становить 920 кг/м<sup>3</sup>, а вже при температурі 80°С – 879 кг/м<sup>3</sup>.

Другою важливою характеристикою палива є кінематична в'язкість. Кінематична в'язкість дизельного палива, при температурі 40 °С, згідно

ДСТУ 8705:2017 становить 2,0 - 4,5 мм<sup>2</sup>/с. Кінематична в'язкість соєвої олії при температурі 20°С становить 59 - 72 мм<sup>2</sup>/с. Це в свою чергу відображається на плинності дизельного палива. Воно завдяки цьому краще тече по каналам паливної апаратури та якісніше фільтрується через малі очисні отвори фільтра. Але, з іншого боку, більш в'язка соєва олія має кращі мастильні властивості, що в результаті призводить до збільшення терміну служби самого двигуна та паливної апаратури в середньому на 60%.

Використання соєвої олії для роботи в дизельному двигуні погіршує протікання процесів подачі, розпилювання, сумішоутворення і, як наслідок, згоряння. Більша густина призводить до зміни геометрії факела, причому далекобійність його збільшується, а кут його розпилу зменшується [4,6]. Пускові якості двигуна при роботі на соєвій олії також погіршуються.

В'язкість рослинної олії [5,8] в холодному стані на порядок вище, ніж у дизельного палива із нафти, а ця властивість визначає якість розпилювання і згоряння палива. В'язкість рослинної олії може бути зменшена нагріванням або розрідження шляхом додавання дизельного палива.

«Сира» рослинна олія не може тривалий час використовуватися в дизелях з безпосереднім вприскуванням, так як вона не повністю згорає. Результатом цього є продукти коксування, що відкладаються на форсунках, поршнях, поршневих кільцях, клапанах, сопловому апарату і лопатках турбіни турбокомпресора.

Тому підвищення температури, як шлях доведення в'язкості соєвої олії до рівня дизельного палива є частиною комплексу робіт з підготовки палива перед запуском двигуна.

Так, у процесі випробувань при температурі соєвої олії 80-85°С забезпечувалась її в'язкість на

рівні 4-5 сСт.

Окремо, також, треба відзначити вплив рослинних олій та дизельного палива на робочі поверхні паливної апаратури (ПА) при контакті з останніми.

Так, згідно результатів проведеного дослідження щодо наявності такого впливу та відображеного в [9], виявлено його присутність, проте який не є критичним для робочих поверхонь деталей ПА.

Приведені в цій роботі дослідження показали, що при дії рапсової олії на деталі ПА протягом 48 годин в структурі матеріалу нагнітального клапана з'явився сірий фон, що свідчить про дію окремих домішок олії на дуже дрібні фазові складові (мартенсит, карбіди і залишковий аустеніт) загартованої легованої сталі. Але ця дія не призводить до критичного руйнування поверхонь ПА, як, наприклад, при контакті з розчинами луг чи кислот.

Проведений аналіз на основі представлених в таблиці 1 результатів роботи дизель-генератора при роботі на дизельному паливі і соєвій олії, показав що такі параметри робочого процесу дизеля як максимальний тиск згоряння (рис.4) і температура випускних газів на виході з циліндрів (рис.3) мають еквідистантний характер зміни кривих. В свою чергу, питома витрата соєвої олії збільшилася в середньому на 14-15% в порівнянні з питомою витратою дизельного палива (рис.2)

Це, в першу чергу, наслідок того, що теплота згоряння соєвої олії  $Q_H = 37300$  кДж/кг нижча на 14%, ніж у дизельного палива  $Q_H = 42500$  кДж/кг. Вагомою причиною стало, також, погіршення якості процесів сумішоутворення та згоряння. Так, за результатами проведених випробувань ДГА-900 на соєвій олії його електричний ККД склав 37,5%, а тепловий ККД - 52%. При цьому, загальний ККД силової установки досягнув рівня - 89,5%.

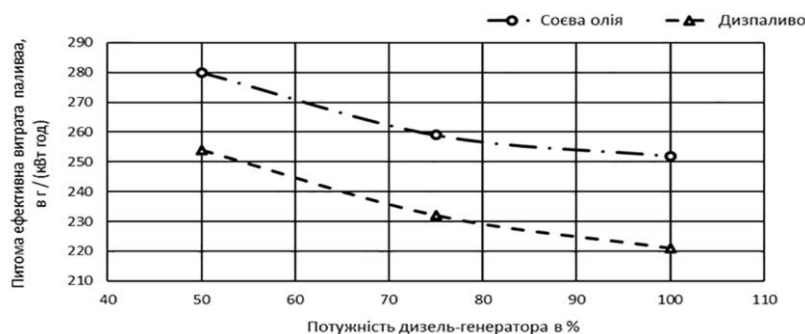


Рис. 2. Ефективна питома витрата дизельного палива і соєвої олії в залежності від навантаження

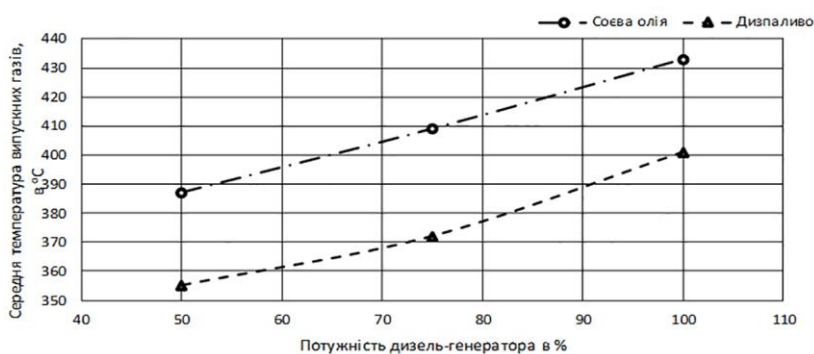


Рис. 3. Температура вихідних газів на виході з циліндрів в залежності від навантаження

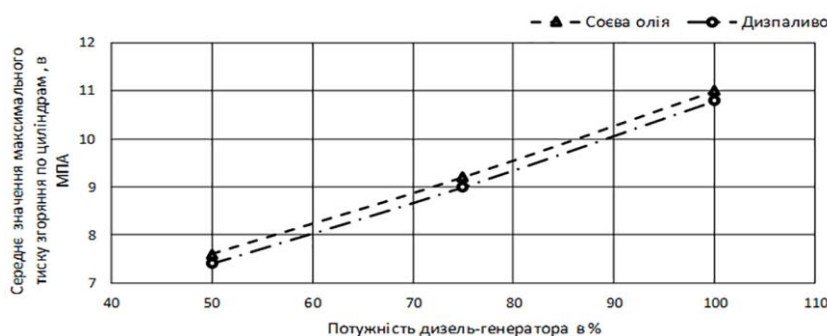


Рис. 4. Максимальний тиск згоряння в залежності від навантаження

### Висновки

Випробування дизель-генератора ДГА-900 при роботі на соєвій олії показали що:

1) забезпечення надійної роботи дизеля 6ЧН 26/34 на соєвій олії передбачає застосування системи підготовки палива;

2) надійний пуск і зупинка дизеля забезпечується при роботі на дизельному паливі;

3) нормальна робота двигуна на соєвій олії забезпечується при нагріванні її до температури 75...85 °С, що забезпечує кінематичну в'язкість на рівні 4-5 сСт;

4) при роботі на дизельному паливі і соєвій олії максимальний тиск згоряння (рис.4) має екві-стантний характер зміни кривих.

5) для зниження температури вихідних газів при роботі на соєвій олії (рис.3) необхідно оптимізувати кут випередження впорскування палива;

6) для уникнення пошкоджень паливного насосу високого тиску і форсунки в експлуатаційних умовах необхідно забезпечити постійний контроль температури та в'язкості соєвої олії в системі паливоподачі;

7) причиною підвищеної питомої витрати рослинної олії є її нижча теплотворна здатність в порівнянні з дизельним паливом (рис.2);

8) високий ККД використання теплоти при згорянні рослинної олії в ДГА-900, забезпечується

за рахунок застосування системи ефективної утилізації теплоти охолоджуючої води, масла та вихідних газів;

9) для зниження відкладень нагару на деталях камери згоряння та вихідної системи дизеля 6ЧН 26/34, необхідно обмежувати тривалість його роботи на режимі холостого ходу та малих навантажень (<50% від номінальної потужності).

### Список літератури:

1. Shvets I. Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil / I. Shvets , O. Hrabovenko , S. Dotsenko , V. Nesterenko // *Transport Means 2020 : Proceedings of 24th International Scientific Conference, September 30 - October 02 , 2020, Kaunas, Lithuania, 2020* – p. 671-675. 2. Доценко С. Конвертація дизельних двигунів сільськогосподарської техніки для роботи на метиловому ефірі ріпакової олії / Сергій Михайлович Доценко // *Збірник наукових праць КНТУ*. – 2007. – Вип. № 37. – С.219–223. 3. Доценко С.М. Когенераційна установка на базі дизель - генератора ДГА-900, працююча на рослинному маслі / Доценко С.М., Грабовенко А.И., Швець І.А. // *Сборник докладов XXV научно-технической конференции с международным участием Ековарна*. — 2019. — 5 с. 4. Марченко А.П. Расчетно-экспериментальные исследования по оценке влияния подогрева альтернативных топлив на показатели работы дизеля / Марченко А.П., Минак А.Ф., Семенов В.Г., Линьков О.Ю. // *Двигатели внутреннего сгорания* – 2005. — 8с. 5. Марченко А.П. Результаты исследований рабочего

процесса и токсичности дизеля, работающего на топливах растительного происхождения / А.П.Марченко, А.Ф.Минак, И.А.Слабун та ін. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2003. – 33с. 6. Десянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / Десянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. // Новое слово, 2007. – 452 с. 7. Дослідження фізико-хімічних показників альтернативного біопалива на основі ріпакової олії / А.П.Марченко., В.Г. Семенов, Д.У. Семенова, О.Ю. Лінков // Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. – 2000. – Вип. 101. – 159с. 8. Семенов В.Г. Определение физических свойств и химического состава рапсового масла, применяемого в качестве биотоплива для дизелей / Семенов В.Г., Зинченко А.А. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Хімія, хімічна технологія та екологія.– 2002. – 162с. 9. Ошовський, В. Я. Взаємодія рослинних олій з робочими контактними поверхнями деталей паливної апаратури дизельних двигунів / В. Я. Ошовський, О. І. Грабовенко, І. А. Швець. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний науково-технічний збірник ЦНТУ. – 2019. – 186с.

ka na baze dizel-generatora DGA-900, rabotayushchaya na rastitelnom masle », Sbornik dokladov XXV nauchno-tehnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem Ekovarna], p. 5. 4. Marchenko A., Minak A., Semenov V., Linkov O. (2005), «Calculation and experimental studies to assess the influence of heating of alternative fuels on the performance of the diesel», Internal combustion engines, NTU "KhPI" [«Raschetno-eksperimentalnye issledovaniya po ocenke vliyaniya podogreva alternativnykh topliv na pokazateli raboty dizelya », Dvigateli vnutrennego sgoraniya, NTU «KhPI»], p. 8. 5. A. Marchenko, A. Minak, I. Slabun, etc. (2003), «Results of researches of working process and toxicity of the diesel engine working on fuels of a vegetable origin, Internal combustion engines of NTU "KhPI" [« Rezultaty issledovaniy rabocheho processa i toksichnosti dizelya, rabotayushchego na toplivah rastitel'nogo proiskhozhdeniya », Dvigateli vnutrennego sgoraniya, NTU «KhPI»], p. 33. 6. Devyanin S., Markov V., Semenov V. (2007), «Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines», New word [«Rastitelnye masla i topliva na ih osnove dlya dizelnykh dvigatelej », Novoye slovo], p. 452. 7. A. Marchenko., V. Semenov, D. Semenova, O. Linkov (2000), «Research of physicochemical parameters of alternative biofuels based on rapeseed oil», Mechanical Engineering: Bulletin of Kharkiv State Polytechnic University. Collection of scientific works [«Doslidzhennya fiziko-himichnih pokaznikov alternativnogo biopaliva na osnovi ripakovoї oliї », Mashinobuduvannya: Visnik Harkivskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu. Zbirka naukovih prac], № 101, p.159 8. Semenov V., Zinchenko A. (2002), «Determination of physical properties and chemical composition of rapeseed oil used as biofuel for diesels, Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific works [«Opredelenie fizicheskikh svoystv i himicheskogo sostava rapsovoogo masla, primenyaemogo v kachestve biotopliva dlya dizel'ey », Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «Harkivskij politekhnichnij institut». Zbirnik naukovih prac], p. 162. 9. V. Oshovsky, O. Grabovenko, I. Shvets (2019), «Interaction of vegetable oils with working contact surfaces of parts of fuel equipment of diesel engines», Design, production and operation of agricultural machinery: nationwide. interdepartmental scientific and technical collection of CNTU [«Vzaimodiya roslinnih olij z robochimi kontaktimi poverhnyami detalej palivnoi aparaturi dizelnykh dviguniv », Konstruyuvannya, virobnictvo ta ekspluatatsiya silskogospodarskikh mashin: zagalnoderzhavnij naukovotekhnichnij zbirnik CNTU], p. 186.

**Bibliography (transliterated):**

1. I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko (2020), «Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil», Transport Means 2020: Proceedings of the 24th International Scientific Conference, pp. 671-675. 2. Dotsenko S. (2007), «Conversion of diesel engines of agricultural machinery to work on the methyl ether of rapeseed oil», Collection of scientific works of KNTU [«Konvertatsiya dizelnykh dviguniv silskogospodarskoi tekhniki dlya roboti na metilovomu efiri ripakovoї oliї », Zbirnik naukovih prac KNTU], № 37, pp. 219–223. 3. Dotsenko S. Grabovenko A., Shvets I. (2019), «Cogeneration unit based on diesel generator DGA-900, working on vegetable oil», Proceedings of the XXV Scientific and Technical Conference with International Participation Ekovarna [«Kogeneratsionnaya ustanov-

Надійшла до редакції 01.07.2021 р.

**Грабовенко Олександр Іванович** – інженер, старший викладач кафедри «Енергетичне машинобудування» Первомайської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: goi70@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-3034-7094>

**Доценко Сергій Михайлович** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Енергетичне машинобудування» Первомайської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: dotsenkosm2016@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2913-3790>.

**Нестеренко Вікторія Валентинівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Енергетичне машинобудування» Первомайської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: vik6462@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-5570-3059>.

**Швець Ігор Анатолійович** – інженер, старший викладач кафедри «Енергетичне машинобудування» Первомайської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: ihor.shvets@nuos.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0500-6236>.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В СРЕДНЕОБОРОТНОМ ДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ**

**А.И. Грабовенко, С.М. Доценко, В.В. Нестеренко, И.А. Швець**

Имея высокую топливную экономичность, дизельные двигатели определяются относительно высоким уровнем выбросов вредных веществ, что отрицательно влияет на людей и окружающую среду. В перспективе некоторые из европейских стран планируют отказаться от использования двигателей, работающих на дизельном топливе после 2030 года. Одним из вариантов использования данного типа двигателей является перевод их на альтернативные топлива из возобновляемых источников энергии - растительных масел (рапсовое, подсолнечное и соевое). К преимуществам растительных масел относят то, что при попадании на землю они через пару недель распадаются. Благодаря незначительному

количеству серы в растительных маслах в отработанных газах двигателя практически отсутствуют оксиды серы. К положительным экологическим факторам можно отнести снижение выбросов в атмосферу оксида азота ( $\text{NO}_x$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ), несгоревших углеводородов ( $\text{CH}_x$ ) и сажи ( $\text{C}$ ). Но необходимо отметить, что использование топлива на растительной основе содержит в себе проблемы, связанные с подготовкой топлива, учета его физико-химических свойств, правильной эксплуатацией двигателя и использования пахотных земель для выращивания растительных масел. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению эффективных показателей при работе на соевом масле дизельного двигателя 6ЧН 26/34 производства «Первомайськдизельмаш», входящий в состав стационарного дизель-генератора ДГА-900 мощностью 900 кВт. Указанный дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания типа «Гесельман», газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха. Более вязкое соевое масло имеет лучшие свойства с смазки сопряженных пар и узлов двигателя, в результате увеличивается срок службы самого двигателя и топливного насоса высокого давления в среднем на 60%. Но более вязкое соевое масло ухудшает смесеобразование, распыление и сгорание топлива. Пусковые качества двигателя также ухудшаются. Но при повышении температуры вязкость соевого масла резко уменьшается. Проанализированы причины, которые привели к появлению вышеупомянутых проблем. Кроме того, описаны особенности и преимущества когенерационной силовой установки, дает возможность получить на выходе две формы полезной энергии - тепловую и электрическую. Применение когенерации значительно повышает общий коэффициент полезного действия установки и предоставляет значительные возможности для эффективной утилизации тепла и достижения максимального экономического эффекта.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель; силовая установка; соевое масло; топливная аппаратура; температура отработанных газов; максимальное давление.

## USE OF VEGETABLE OIL AS A FUEL IN A MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE

*O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko, I. Shvets*

While being highly fuel-efficient, diesel engines are defined by relatively high emissions, which have a negative impact on people and the environment. In the future, most European countries plan to abandon the use of diesel engines after 2030. One way to use this type of engines is to convert them to alternative fuels from renewable energy sources, such as vegetable oils (rapeseed, sunflower and soya bean oils). A significant advantage of vegetable oils is that when they hit the ground, they break down in a couple of weeks. Sulfur oxides are virtually absent due to the small amount of sulfur in vegetable oils in the engine exhaust gases. Other environmental factors include reduced emissions of nitrogen oxides  $\text{NO}_x$ , carbon monoxide  $\text{CO}$ , unburned hydrocarbons and carbon black  $\text{C}$ . However, it should be noted that the use of vegetable-based fuel involves problems related to fuel preparation, consideration of physical and chemical properties and proper engine operation and use of arable land for the cultivation of vegetable oils. The article presents the results of experimental studies to determine the effective performance of soybean oil, six cylinder, four-stroke supercharged diesel engine (26 – the diameter of the cylinder, cm; 34 – the piston stroke, cm) produced by "Pervomaiskdieselmash", which is a part of the stationary diesel generator (DGA-900) with the capacity of 900 kW. This diesel engine is with an undivided combustion chamber ("Geselman" type), gas turbine supercharging and intermediate charge air cooling. Soybean oil is more viscous and has better lubrication properties of conjugated vapors and engine components, as a result, the lifespan of the engine and high-pressure fuel pump increases by an average of 60%. However, more viscous soybean oil impairs fuel mixing, spraying and combustion. Starting qualities of the engine also deteriorate. On the other hand, as the temperature rises, the viscosity of soybean oil decreases sharply. The reasons which led to the emergence of the above-mentioned problems have been analysed. In addition, the features and advantages of the cogeneration power plant have been described, which makes it possible to obtain two forms of useful energy at the output such as thermal and electric. The use of cogeneration significantly increases the overall efficiency of the plant; it provides significant opportunities for efficient heat utilization and achieving maximum economic effect.

**Keywords:** diesel engine; power plant; soybean oil; fuel equipment; exhaust gas temperature; maximum pressure.

УДК 621.43.019.2-57

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.12

*Д.В. Левченко*

## ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУ 6-ТИ ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПУСКОВИХ ЯКОСТЕЙ ДВЗ

*Представлено практичне значення застосування багатofакторного регресійного аналізу в інженерній практиці як необхідного кроку на шляху вдосконалення і оптимізації складних систем та процесів. Актуалізовані мета та задачі оптимізації процесу пуску високообертового малолітражного дизеля. Подані особливості підготовки багатofакторного експерименту досліджуваного процесу на основі регресійного аналізу та теорії математичного планування експерименту. Визначені якісні параметри для оптимізації процесу холодного пуску дизеля: миттєве прискорення колінчастого вала  $dn/dt$  в момент прокручування колінчастого вала зовнішнім джерелом енергії, що близький до часу витраченого на пуск ДВЗ при оптимальних параметрах системи пуску та енергоємність пуску, яка є інтегральною характеристикою еквіваленту витраченої енергії за час прокручування колінчастого вала зовнішнім джерелом енергії. Досліджений вплив обраних 6-ти вагомих факторів на визначені параметри якості пуску дизеля. Обґрунтований вибір регресійного рівняння у вигляді повного квадратичного поліному для відтворення досліджуваних функцій оцінки якості процесу пуску, виходячи із попереднього вивчення впливу деяких окремих факторів, що використані в дослідженні. Проведено аналіз пропозицій щодо вибору раціонального плану шестифакторного експерименту для пошуку ко-*