

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬ-КОМПРЕСОРНОГО АГРЕГАТУ ПРИ ЙОГО РОБОТІ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМУ БІОПАЛИВІ

С. І. Криштопа, Л. І. Криштопа, М. М. Гнип, І. М. Микитій

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727172,
e-mail: ep eo@n i n g . e d u . u a

Розглянуто напрям використання синьо-зелених водоростей як біоматеріалу для створення моторного біопалива для нафтогазового технологічного транспорту. Мета роботи – експериментальні дослідження зміни потужнісних та екологічних характеристик дизель-компресорного агрегату при використанні нафтового дизельного палива та його сумішей з біопаливами, які одержані з водоростей. В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено залежності зміни ефективної потужності двигуна при використанні дизельного палива і суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococccfles* в кількості 5, 10 та 20 %. Експериментально встановлено, що ефективна потужність двигуна при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococccfles* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться в середньому на 0,9, 1,8 та 3,5 %. Експериментально встановлено, що вміст оксиду вуглецю CO при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococccfles* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться в середньому на 6,5, 13,9 та 28,7 %.

Ключові слова: біопалива, дизельний двигун, водорості, потужнісні характеристики, екологічні показники.

Рассмотрено направление использования синие-зеленых водорослей в качестве биоматериала для создания моторного биотоплива для нефтегазового технологического транспорта. Цель работы – экспериментальные исследования изменения мощностных и экологических показателей дизель-компрессорного агрегата при использовании нефтяного дизельного топлива и его смесей с биотопливом, полученные с синие-зеленых водорослей. В результате выполненных экспериментальных исследований установлены зависимости изменения эффективной мощности двигателя при использовании дизельного топлива и смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синие-зеленых водорослей *Chroococccfles* в количестве 5, 10 и 20%. Экспериментально установлено, что эффективная мощность двигателя при использовании смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синие-зеленых водорослей *Chroococccfles* в количестве 5, 10 и 20% уменьшится в среднем на 0,9, 1,8 и 3,5 %. Экспериментально установлено, что содержание оксида углерода CO при использовании смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синие-зеленых водорослей *Chroococccfles* в количестве 5, 10 и 20 % уменьшится в среднем на 6,5, 13,9 и 28,7 %.

Ключевые слова: биотоплива, дизельный двигатель, водоросли, мощностные характеристики, экологические показатели.

This article considers usage of blue-green algae as biomaterials for creation of motor biofuels. Proliferation of blue-green algae leads to water rotting, destruction of aquatic ecosystems and destruction of rivers and lakes that is why clearing of water bodies from blue-green algae is an urgent task. The object of the study is effect of blended biodiesel fuels from blue-green algae on the environmental and energy performances for the diesel engine. The purpose of the work is experimental study of changes of power and ecological characteristics of automobile diesel engines using petroleum diesel and their mixtures with biofuels derived from blue-green algae. Methods of research are experimental, laboratory ones. Laboratory researches were carried out on an experimental installation based on the serial diesel engine D21A1. As a result of performed experimental researches dependences of changing of the effective engine power on the use of diesel fuel and a mixture of diesel fuel with the received bioactive supplements based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccfles* in the amount of 5, 10 and 20 % were established. It has been experimentally established that the effective power of an engine using a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccfles* in the amount of 5, 10 and 20 % will decrease by an average of 0,9, 1,8 and 3,5 %. It has been experimentally determined that the content of carbon monoxide in the use of a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccfles* in the amount of

5, 10 and 20 % will decrease by an average of 6,5, 13,9 and 28,7 %. The obtained results allow to optimize the choice of fuels for power systems of internal combustion engines and to reduce emissions of harmful substances in exhaust gases of automobile diesel engines.

Keywords: biofuels, diesel engine, algae, powerful characteristics, environmental indicators.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З урахуванням того, що дешева легкодоступна нафта підходить до свого вичерпання, а розвідка нових родовищ та видобуток з подальшою переробкою важкодоступних високосірчистих і високов'язких сортів нафти вимагають великих капіталовкладень, в світі прогнозується неминуче зростання цін на моторне паливо. З посилюванням вимог до захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння виникла також серйозна проблема із забезпеченням якості моторного палива. Процес зниження вмісту сірки у дизельних паливах призвів до втрати ряду споживчих властивостей. Тому для поліпшення змащувальних властивостей екологічно чистих дизельних палив необхідно додавати в них протизношувальні присадки.

На даний час в нафтогазовій галузі та в нафтогазовому технологічному транспорті спостерігається процес інтенсивного витіснення дизельних двигунів колишнього радянського виробництва, що відпрацювали свій ресурс, сучасними європейськими дизельними двигунами з електронним управлінням. Таким чином, сьогодні існує багатогранна актуальна проблема забезпечення потреби сучасних дизельних двигунів нафтогазової галузі в якісному і екологічно чистому дизельному паливі. Одним з головних напрямів вирішення цієї проблеми є використання відновлюваних джерел енергії з рослинної біомаси. Водночас бурхливе зростання виробництва і споживання біодизельного палива з рослинних олив харчового призначення в багатьох країнах світу призвело до порушення балансу в структурі агропромислового виробництва та почало породжувати проблеми соціально-етичного і екологічного плану.

Один з перспективних подальших шляхів розвитку біодизельного палива пов'язаний з використанням біомаси водоростей, які як енергетична сировина за своїми характеристиками перевершують інші сировинні біоресурси. Проте широкому впровадженню в практику біопалива з водоростей як добавки до моторного палива заважає недостатнє на даний момент вивчення питань використання в дизельних дви-

гунах біопалив, які виготовлені із зазначених біоматеріалів. Тому дослідження використання в дизельних двигунах біопалив, які створені з великої номенклатури існуючих водоростей, є своєчасними та актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах сучасного виробництва біопаливо отримують з рослинних олив внаслідок перетерифікації [1]. Зазначена реакція не вимагає складного технологічного обладнання та високих температур, а отримана суміш складних ефірів майже не відрізняється від вуглеводнів нафтового палива, маючи при цьому кращі екологічні та змащувальні характеристики [2].

При використанні біодизельного палива з наземних сільськогосподарських культур встановлено значне зниження викидів твердих часток (сажі), оксиду вуглецю (II) та вуглеводнів (в тому числі канцерогенних), ніж при використанні нафтового палива [3].

Висока температура займання палива (понад 120° C), робить використання, зберігання і транспортування біодизельного палива більш безпечним порівняно з дизельним паливом нафтового походження [4]. Ще одна суттєва перевага біодизельного палива – це його здатність, на відміну від нафтового палива, до біологічного розкладання [5].

Біопаливо з наземних сільськогосподарських культур (ріпак, соняшник та ін.) успішно використовується в існуючих двигунах, продовжуючи термін служби двигунів та має високе цетанове число [6]. Використання біопалива в якості біодобавки до нафтового дизельного палива дозволяє покращувати екологічні та протизношувальні властивості палив [7].

Використання водоростей як біоматеріалу для створення моторного палива має ряд переваг [8]: водорості в процесі росту поглинають 80-90 % вуглекислого газу з виділенням кисню; для культивування водоростей можна використовувати стічні та засолені води; водорості, на відміну від наземних рослин, ростуть увесь рік. Встановлено, що біопродуктивність та вміст ліпідів водоростей залежить від інтенсивності освітлення [9]. Висока інтенсивність освітлення призводить до накопичення у водоростях ліпідів. Водорості споживають, переважно, світло у червоному та синьому діапазонах.

Таблиця 1 – Коротка технічна характеристика експериментального дизельного двигуна Д21А1

№ з/п	Назва параметрів двигуна	Одиниці вимірювання	Значення
1	Тип дизеля	-	Чотиритактний, двоциліндровий, повітряного охолодження
2	Робочий об'єм	л	2,08
	Спосіб сумішоутворення	-	Нероздільна камера згоряння з прямим впорскуванням дизельного палива
3	Номінальна потужність двигуна	кВт (к.с.)	18 (25)
4	Ефективна питома витрата палива	г/кВт год (г/к.с. год)	253 (186)
5	Частота обертання колінчастого вала двигуна при номінальній потужності	об./хв.	1800
6	Частота обертання колінчастого вала двигуна на оборотах холостого ходу	об./хв.	800
7	Маса дизельного двигуна	кг	280

Невисоке перемішування води інтенсифікує тепломасообмінні процеси у водоростях, сприяє руху клітин в зону освітлення та збільшує біопродуктивність водоростей [10]. Встановлено, що на урожайність водоростей суттєво впливає концентрація вуглекислого газу [11]. Так, зі зростанням концентрації вуглекислого газу з 4 до 22 % вихід біомаси водоростей збільшувався в чотири-п'ять разів.

Формування цілей статті

Водорості є одним з найстаріших та найстійкіших організмів на Землі: виникли близько 350 млн. років тому та живуть в прісній та солоній воді, в ґрунті та навіть у снігу. Серед всього різноманіття існуючих водоростей автотрофи для досліджень були обрані синьо-зелені водорості Cyanophyta родини Chroococcales. Зазначені водорості призводять до інтенсивного «цвітіння» водоймищ в Україні та Європі, причому щороку масштаби забруднення поверхні води суттєво збільшуються. Розповсюдження синьо-зелених водоростей призводить до гниття води, руйнування водних екосистем та загибелі річок та озер. Найефективнішим шляхом очищення водойм є використання водоростей як палива.

Тому метою даної статті є експериментальне дослідження:

– зміни потужнісних характеристик дизель-компресорного агрегату при використанні в його двигуні нафтових дизельних палив та їхніх сумішей з біопаливами, які одержані з синьо-зелених водоростей;

– зміни екологічних показників дизель-компресорного агрегату при використанні в його двигуні нафтових дизельних палив та їхніх сумішей з біопаливами, які одержані з синьо-зелених водоростей.

Виклад основного матеріалу дослідження

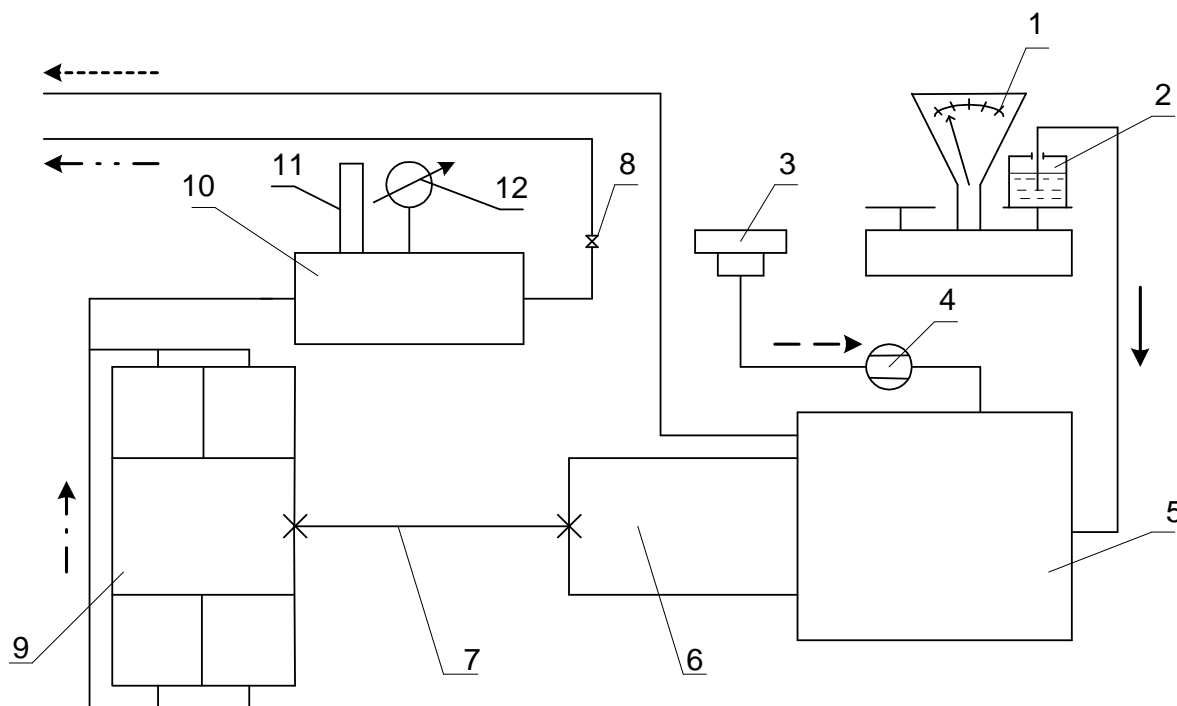
Стендові дослідження проводили на експериментальній установці, що включала в себе серійний дизель Д21А1, коротка технічна характеристика якого наведена в табл. 1. Схема та зовнішній вигляд дизельного двигуна Д21А1 зображені на рис. 1. Навантаження для двигуна Д21А1 (5) створюється за допомогою чотириступінчатого чотирициліндрового компресора марки К-5М (9). Потужність на валу компресора К-5М може регулюватись в діапазоні від одного до тридцяти п'яти кВт, що дозволяло на 100 % навантажити дизельний двигун. Крутний момент від двигуна Д21А1 до компресора передається за допомогою коробки перемикачів (5) та карданної передачі (7).

Синьо-зелені водорості для одержання біопалива улітку збирались з водоймищ навколо м. Івано-Франківська (рис. 2а), а узимку – культивувались в фітобіореакторах (рис. 2б).

Фотобіореактор являв собою прозорий резервуар на 60 літрів з освітленням люмінесцентними лампами. Водорість культивувалась циклами тривалістю 14 діб. В реактор за допомогою компресора та вуглекислотного балону подавалась газоповітряна суміш обсягом 1 метр кубічний за добу (вуглекислий газ – 8 %).



а)



б)

- - напрямок руху палива в системі живлення експериментальної установки;
- -→ - напрямок руху повітря в системі живлення експериментальної установки;
- · -→ - рух повітря до ресивера;
- ←----- - рух відпрацьованих газів двигуна в навколишнє середовище;
- ← · · - - - рух повітря в навколишнє середовище;

1 – вага для вимірювання витрати палива; 2 – ємність для біодизельного палива;
 3 – повітряний фільтр; 4 – газовий лічильник; 5 – експериментальний дизельний двигун;
 6 – коробка перемикачів передач; 7 – карданна передача; 8 – дросель; 9 – компресор;
 10 – ресивер; 11 – термометр для вимірювання температури повітря; 12 – манометр

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд (а) та схема експериментальної установки на базі дизельного двигуна Д21А1 (б) для дослідження показників роботи двигуна на біодизельних сумішах

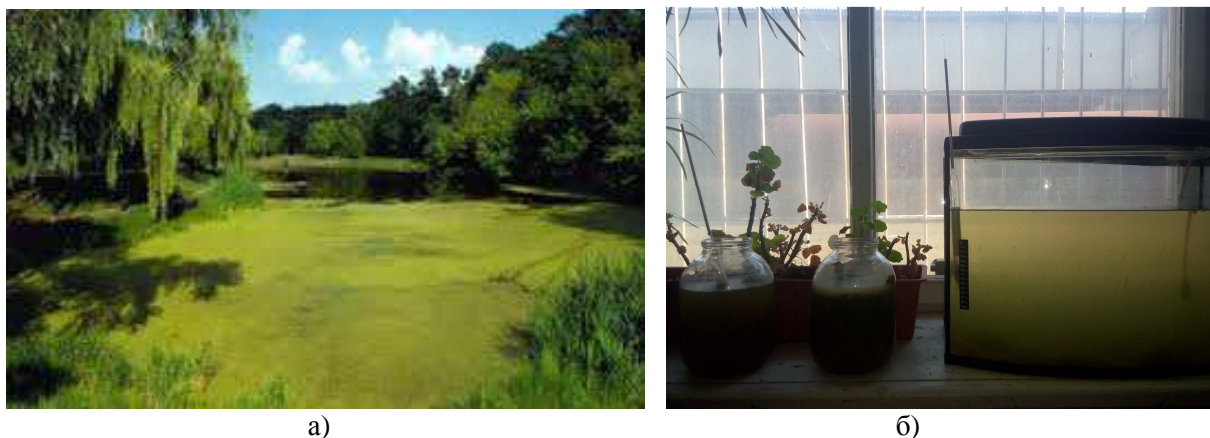


Рисунок 2 – Джерела збирання синьо-зелених водоростей для одержання біопалив: природні водойми (а); штучні біореактори (б)

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики метилових ефірів та дизельного палива

Показник	Метиловий ефір	Дизельне паливо
Густина при 20 ° С, не більше, кг/м ³	885	860 (літнє), 840 (зимове)
В'язкість при 20 ° С, мм ² /с, (сСт)	8,2	3,0 - 6,0
Температура спалаху, °С	57	62 (літнє), 40 (зимове)
Температура застигання, °С	-8	-10 (літнє)
Теплота згоряння, кДж/кг	36500	42500

Сушку біомаси виконували в сушильній шафі до рівня вологості 10 %.

Отримували біодобавку за реакцією метанолізу рослинних масел в присутності гомогенного каталізатора. Попередньо був підготовлений спиртовий розчин алкоголята. Для його приготування використовували суміш метилового спирту (95,7 %) і гідроксиду калію (4,3 %). Потім приготовлений розчин і ліпідні компоненти водорості подавалися в апарат, де відбувалось перемішування продуктів реакції та синтез біодобавки. Далі реакційну масу відокремлювали в сепараторі від гліцерину. Отриману біодобавку очищали від домішок водним розчином ортофосфорної кислоти, а залишки води випаровували. Отриману біодобавку змішували з нафтовим дизельним паливом. Порівняльні експериментальні характеристики метилових ефірів та дизельного палива наведені в табл. 2.

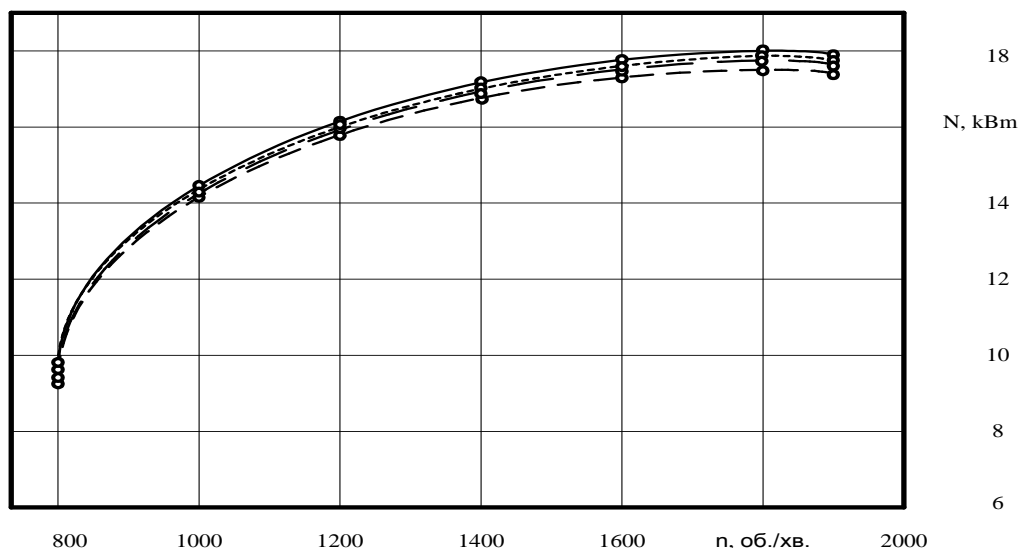
Розрахунки показали, що теплота згоряння одержаних метилових ефірів складає 36,5 МДж/кг. При цьому необхідно зазначити, що після екстракції жирів можна додатково використовувати суху біомасу, теплота згоряння якої складає 15,5 МДж/кг.

Таким чином, в експериментальних дослідженнях використовувались суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зеле-

них водоростей Chroococcales в кількості 5, 10 та 20 % та, для порівняння, чисте дизельне паливо. В цьому випадку паливний бак заповнювався дизельним паливом марки Л виробництва Кременчуцького нафтоперегінного заводу.

Об'ємні частки оксиду вуглецю та вуглеводнів вимірювались газоаналізатором „Автотест–02.03П”. Діапазон вимірювань вуглеводнів газоаналізатора складає 0–2000 ppm, абсолютна похибка вимірювань – ± 10 ppm. Діапазон вимірювань оксиду вуглецю газоаналізатора складає 0–5 %, абсолютна похибка вимірювань – $\pm 0,03$ %. При визначенні температур відпрацьованих газів використовувались термомпари типу «хромель-копель» та логометр-потенціометр УП–2М.

Для порівняльної оцінки показників двигуна на дизельному паливі з відповідними показниками дизельного двигуна на суміші дизельного палива з біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей в кількості 5, 10 та 20 % знімалися навантажувальні характеристики двигуна на фіксованих частотах обертання колінчастого валу. Перед вимірюваннями параметрів для стабільного протікання робочого процесу двигун на заданому режимі працював не менше 5 хвилин. Результати вимірювань заносились в протокол випробувань при трикратному повторюванні на кожному режимі роботи дизельного двигуна.



- робота двигуна на 100 % нафтовому дизельному паливі;
- робота двигуна на суміші з 95 % нафтового дизельного палива та 5 % метилових ефірів;
- робота двигуна на суміші з 90 % нафтового дизельного палива та 10 % метилових ефірів;
- .-.-.- робота двигуна на суміші з 80 % нафтового дизельного палива та 20 % метилових ефірів

Рисунок 3 – Експериментальні залежності ефективної потужності N від частоти обертання колінчастого вала двигуна n за різного вмісту біодобавок

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено залежності зміни ефективної потужності двигуна при використанні дизельного палива і суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % (рис. 3). Експериментально встановлено, що ефективна потужність двигуна при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться, в середньому, на 0,9, 1,8 та 3,5 %.

Математичною обробкою двовірної вибірки N, n встановлено, що середньостатистична залежність $N = f(n)$ з найменшими середньоквадратичними відхиленнями апроксимується рівняннями виду $y = A + B/x$. Наприклад, середньостатистична залежність ефективної потужності двигуна $N = f(n)$ при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 20 % апроксимується рівнянням (1):

$$N(n) = 24,47 - \frac{11354,36}{n} \quad (1)$$

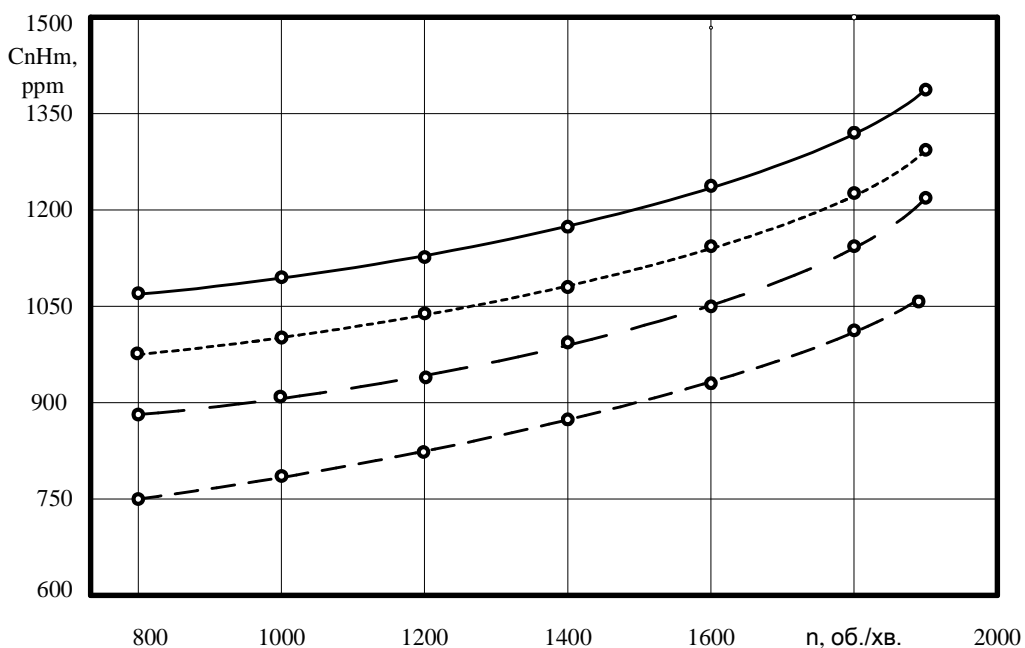
В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено залежності зміни вмісту вуглеводнів C_nH_m від частоти обертання колінчастого вала двигуна n при номіналь-

ному навантаженні за різного вмісту біодобавок на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % (рис. 4) та залежності зміни вмісту оксиду вуглецю CO від частоти обертання колінчастого вала двигуна n при номінальному навантаженні за різного вмісту біодобавок на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % (рис. 5).

Математичною обробкою двовірної вибірки C_nH_m, n встановлено, що середньостатистична залежність $C_nH_m = f(n)$ з найменшими середньоквадратичними відхиленнями апроксимується рівняннями виду $y = A + B \cdot x^3$. Наприклад, середньостатистична залежність ефективної потужності двигуна $C_nH_m = f(n)$ при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 10 % апроксимується рівнянням (2):

$$C_nH_m(n) = 852,5 + 5,08 \cdot 10^{-8} \cdot n^3 \quad (2)$$

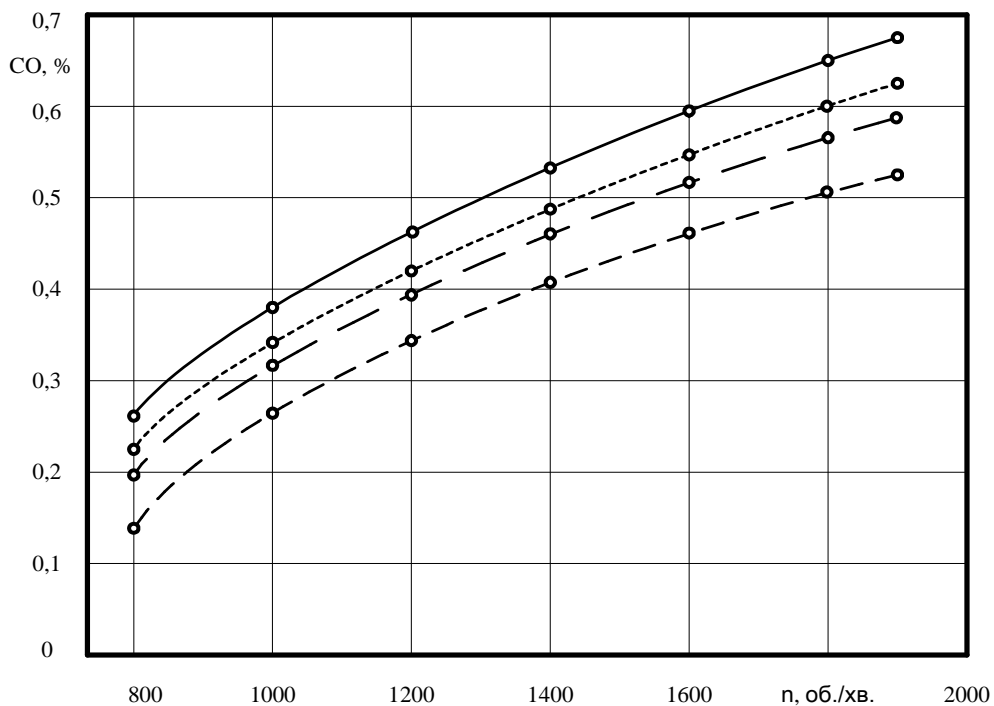
Експериментально встановлено, що вміст вуглеводнів C_nH_m при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться в середньому на 6,2, 13,1 та 26,6 %.



— робота двигуна на 100 % нафтовому дизельному паливі;

- робота двигуна на суміші з 95 % нафтового дизельного палива та 5 % метилових ефірів;
- робота двигуна на суміші з 90 % нафтового дизельного палива та 10 % метилових ефірів;
- - - - - робота двигуна на суміші з 80 % нафтового дизельного палива та 20 % метилових ефірів

Рисунок 4 – Експериментальні залежності вмісту вуглеводнів CnHm від частоти обертання колінчастого вала двигуна n при номінальному навантаженні за різного вмісту біодобавок



— робота двигуна на 100 % нафтовому дизельному паливі;

- робота двигуна на суміші з 95 % нафтового дизельного палива та 5 % метилових ефірів;
- робота двигуна на суміші з 90 % нафтового дизельного палива та 10 % метилових ефірів;
- - - - - робота двигуна на суміші з 80 % нафтового дизельного палива та 20 % метилових ефірів

Рисунок 5 – Експериментальні залежності вмісту оксиду вуглецю CO від частоти обертання колінчастого вала двигуна n при номінальному навантаженні за різного вмісту біодобавок

Математичною обробкою двомірної вибірки CO , n встановлено, що середньостатистична залежність $CO = f(n)$ з найменшими середньо-квадратичними відхиленнями апроксимується рівняннями виду $y = A + B \cdot \log(x)$. Наприклад, середньостатистична залежність ефективної потужності двигуна $CO = f(n)$ при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5 % апроксимується рівнянням (3):

$$CO(n) = -2,795 + 0,4533 \cdot \log(n). \quad (3)$$

Експериментально встановлено, що вміст оксиду вуглецю CO при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться в середньому на 6,5, 13,9 та 28,7 %.

Висновки і перспективи подальших досліджень

1. Синтезований метиловий ефір ліпідної фракції застосовувався в якості добавки 5-20 % до звичайного дизельного палива. В процесі експериментальних випробувань встановлено, що на різних сумішах біодизельного та дизельного палив різниця потужнісних характеристик спостерігається в межах 0,9-3,5 %, що з експлуатаційної точки зору не є суттєвою різницею.

2. Водночас зі збільшенням кількості біодобавки в біодизельному паливі суттєво поліпшуються експлуатаційні і екологічні показники роботи двигунів – істотно знижується вміст незгорілих вуглеводнів і оксидів вуглецю. Найнижчі показники зафіксовані при використанні біодизельної суміші з 20 % біодобавки. Вміст вуглеводнів і оксидів вуглецю в дизельному паливі з біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синьо-зелених водоростей *Chroococcales* знизився на 26,6 % і 28,7 % відповідно.

Одержані результати дозволяють покращити властивості палив для систем живлення двигунів внутрішнього згорання та знизити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизельних двигунів у нафтогазовій галузі та в нафтогазовому технологічному транспорті. Подальші дослідження будуть пов'язані з визначенням витрати палива та викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах дизельних двигунів конвертованих для роботи на альтернативних паливах з біодобавками на основі метилових ефірів водоростей.

Література

1. Awolu O. O., Layokun S. K. Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from neem (*Azadirachta indica*) oil. *Int. J. Energy Environ.* 2013. No 4 (39). doi: 10.1186/2251-6832-4-39.
2. Wang M., Wu W., Wang S., Shi X., Wu F., Wang J. Preparation and Characterization of a Solid Acid Catalyst from Macro Fungi Residue for Methyl Palmitate Production. *BioResources*, 2015. No 10(3), P. 5691–5708. doi: 10.15376/biores.10.3.5691-5708.
3. Eggert H., Greker M. Promoting Second Generation Biofuels: Does the First Generation Pave the Road? *Energies*. 2014. No 7(7). P. 4430–4445. doi: 10.3390/en7074430.
4. Ghosh P. Biofuels: Engineering and Biological Challenges: proceedings of Indian National Science Academy. 2015. No 81 (4). P. 765–773. doi: 10.16943/ptinsa/2015/v81i4/48295.
5. Marinescu C., Cicea C. What Do We Know about Biofuels Today that Diesel and Ford Did Not? *Management and Economics Review*. 2018. No 3 (2). P. 213–224. doi: 10.24818/mer/2018.12-07.
6. Haas M. I., Wagner K. Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2011. No 113. P. 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
7. Nascimento I. A., Marques S. S. I., Cabanelas I. T. D., Pereira S. A., Druzian J. I., de Souza C. O. Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 2013. No 6. P. 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2
8. Behera S., Singh R., Arora R., Sharma N., Shukla M., Kumar S. Scope of algae as third generation biofuels. 2015. No 2. P. 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
9. Afify A. M. M., Shanab S. M., Shalaby E. A. Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites*. 2010. No 61. P. 416–422. doi: 10.3989/gya.021610.
10. Chen C. Y., Zhao X. Q., Yen H. W., Ho S. H., Cheng C. L., Bai F. Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 2013. No 78. P. 1–10. doi: 10.1016/j.bej.2013.03.006.
11. Ho S. H., Chen C. Y., Lee D. J., Chang J. S. Perspectives on microalgal CO_2 -emission mitigation systems: a review. *Biotechnol. Adv.* 2011. No 29. P. 189–198. doi: 10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.

References

1. Awolu, O. O., and Layokun, S. K. (2013). Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from neem (*Azadirachta indica*) oil. *Int. J. Energy Environ.* 4, P. 39. doi:10.1186/2251-6832-4-39.
2. Wang, M., Wu, W., Wang, S., Shi, X., Wu, F., Wang, J. (2015). Preparation and Characterization of a Solid Acid Catalyst from Macro Fungi Residue for Methyl Palmitate Production. *BioResources*, 10 (3), P. 5691–5708. doi: 10.15376/biores.10.3.5691-5708.
3. Eggert, H., Greker M. (2014). Promoting Second Generation Biofuels: Does the First Generation Pave the Road? *Energies*. 7 (7), P. 4430-4445. doi: 10.3390/en7074430.
4. Ghosh P. (2015) Biofuels: Engineering and Biological Challenges. *Proceedings of Indian National Science Academy*, 81 (4), P. 765-773. doi: 10.16943/ptinsa/2015/v81i4/48295.
5. MARINESCU, C., CICEA, C. (2018). What Do We Know about Biofuels Today that Diesel and Ford Did. *Management and Economics Review*, 3 (2), P. 213-224. doi: 10.24818/mer/2018.12-07.
6. Haas, M. I., and Wagner, K. (2011). Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, P. 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
7. Nascimento, I. A., Marques, S. S. I., Cabanelas, I. T. D., Pereira, S. A., Druzian, J. I., de Souza, C. O. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 6, P. 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2
8. Behera, S., Singh, R., Arora, R., Sharma, N., Shukla, M., Kumar, S. (2015). Scope of algae as third generation biofuels, 2, P. 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
9. Afify, A. M. M., Shanab, S. M., and Shalaby, E. A. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* 61, P. 416–422. doi: 10.3989/gya.021610
10. Chen, C. Y., Zhao, X. Q., Yen, H. W., Ho, S. H., Cheng, C. L., Bai, F. (2013). Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 78, P. 1–10. doi:10.1016/j.bej.2013.03.006.
11. Ho, S. H., Chen, C. Y., Lee, D. J., and Chang, J. S. (2011). Perspectives on microalgal Co₂-emission mitigation systems-a review. *Biotechnol. Adv.* 29, P. 189–198. doi:10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.