

УДК 621.431
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3\(491-492\).7](https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3(491-492).7)

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF A DIESEL ENGINE WHEN RUNNING ON SOYBEAN OIL

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА СОЄВІЙ ОЛІЇ

Serhii M. Dotsenko

serhii.dotsenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2913-3790

Oleksandr I. Hrabovenko

oleksandr.hrabovenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3034-7094

Ihor A. Shvets

ihor.shvets@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0500-6236

Alla Yu. Lysykh

alla.lysykh@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0979-7736

С. М. Доценко,

канд. техн. наук, доцент

О. І. Грабовенко,

старший викладач

І. А. Швець,

старший викладач

А. Ю. Лисих,

канд. техн. наук

*Pervomaisk Educational and Scientific Institute
of Admiral Makarov National Shipbuilding University, Pervomaisk*

*Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Первомайськ*

Abstract. Purpose. The purpose of the experimental studies was to remove the load characteristics of the diesel engine 6 CN 26/34, and to determine the nature of changes in emissions of toxic components (carbon monoxide CO and nitric oxide NOx) from the load when operating on the engine on soybean oil.

Methodology. The complex of works included a stage for testing a diesel engine 6 CN 26/34, which was carried out during research work at the Pervomaiskdieselmash enterprise. During this test, quantitative indicators of exhaust gas emissions were removed. For this study, the Testo 350 device was used.

Results. During the experimental study, quantitative results of component emissions were obtained. The work made it possible to obtain data for three load modes on such components of exhaust gases as: oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide and nitrogen oxides. Analysis of the results of the processed study protocols showed an increase for all components with increasing load except oxygen.

Scientific novelty. Experimental results of quantitative indicators of CO, NOx emissions for a diesel engine 6 CN 26/34 running on soybean oil were obtained for the first time. The nature of the change in emissions of carbon monoxide, CO and nitric oxide depending on the engine load was also determined.

Practical significance. The presented results of experimental studies of the operation of a diesel engine 6 CN 26/34 on soybean oil can be used in the conversion of diesel engines to run on biofuels.

Key words: diesel engine; power plant; soybean oil; environmental indicators; emissions of toxic components.

Анотація. Мета. Метою експериментальних досліджень було зняття навантажувальної характеристики дизельного двигуна 6 ЧН 26/34, та визначення характеру змін викидів токсичних компонентів (оксиду вуглецю СО та оксиду азоту NO_x) від навантаження при роботі на двигуна на соєвій олії.

Методика. Комплекс робіт включав в себе етап з випробувань дизеля 6 ЧН 26/34, яке було здійснено в ході дослідних робіт на підприємстві «Первомайськдизельмаш». В ході даного випробування знімалися кількісні показники викидів відпрацьованих газів. Для даного дослідження було використано прилад Testo 350.

Результати. В ході експериментального дослідження було отримано кількісні результати викидів компонентів. Робота дала можливість отримати для трьох режимів навантаження дані по таким компонентам відпрацьованих газів як: кисень, діоксид вуглецю, монооксид вуглецю та оксиди азоту. Аналіз отриманих результатів

оброблених протоколів дослідження показав зростання для всіх компонентів із збільшенням навантаження окрім кисню.

Наукова новизна. Вперше отримані експериментальні результати кількісних показників викидів CO, NO_x для дизельного двигуна 6 ЧН 26/34 працюючого на соєвій олії. Також було визначено характер зміни викидів оксиду вуглецю CO та оксиду азоту в залежності від навантаження двигуна.

Практична значимість. Представлені результати експериментальних досліджень роботи дизельного двигуна 6 ЧН 26/34 на соєвій олії можуть бути використані при конвертації дизельних двигунів для роботи на біопаливі.

Ключові слова: дизельний двигун; силова установка; соєва олія; екологічні показники; викиди токсичних компонентів.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Було обрано три режими навантаження установок ДГУ-900 що відповідають 50% (450 кВт), 75% (675 кВт) і 100% (900 кВт) від номінальної потужності дизель-генератора при оборотах колінчастого валу в 750 хв⁻¹. Під час проведення випробувань із замірами шкідливих викидів у випускних газах дизель-генератор ДГУ-900 працював в паралель із промисловою електромережою. В ході дослідження визначався кількісний вміст токсичних компонентів відпрацьованих газів.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою експериментальних досліджень було зняття навантажувальної характеристики дизельного двигуна 6 ЧН 26/34, та визначити характер зміни викидів токсичних компонентів (оксиду вуглецю CO та оксиду азоту NO_x) від навантаження при роботі на двигуні на соєвій олії.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні дослідження з визначення екологічних характеристик дизельного двигуна, працюючого на соєвій олії, проводилися на дизелі 6ЧН 26/34. Для визначення величини вмісту оксиду вуглецю та оксиду азоту у відпрацьованих газах було використано прилад Testo 350.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Шестициліндровий 4-тактний дизельний поршневий двигун з газотурбінним наддувом 6 ЧН 26/34, який входить в склад дизель-генераторної установки ДГУ-900.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Параметри екологічних показників дизельного двигуна при роботі на соєвій олії в залежності від навантаження.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Висока паливна економічність дизельних двигунів паралельно супроводжується значним викидом токсичних речовин у їх вихлопних газах, що негативно впливає на навколишнє середовище. Внаслідок цього в країнах Європейського союзу планують відмовитися від використання двигунів, що працюють на дизельному паливі, після 2030 року. Одним із варіантів вирішення зазначеної проблеми є перевід їх

для роботи на альтернативних рідких паливах отриманих з сировини рослинного походження та являють собою набір рослинних олій (рапсова, соняшникова, лляна, соєва та інші).

Урядом України (8.08.2023 року) схвалено два законопроекти («Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо встановлення нульової ставки податку за викиди CO₂ для установок, якими здійснюються такі викиди в результаті спалювання біопалива» та «Про внесення змін до Закону України «Про альтернативні види палива» щодо створення Реєстру установок, що використовують біопаливо як єдиний вид палива») з метою застосування в Україні загальноприйнятих світових практик щодо CO₂-нейтральності біопалива, які націлені на стимулювання виробництва біопалива. Законопроекти передбачають звільнення виробників енергії з біопалива від сплати податку на викиди CO₂; створення реєстру установок, що використовують біопаливо як єдиний вид палива, для адміністрування нульової ставки податку на CO₂.

Данні законопроекти, відповідно до положень Додатку IV до Директиви 2003/87/ЄС, підтверджують, що коефіцієнт викидів парникових газів для біомаси дорівнює нулю і тому викиди двоокису вуглецю від спалювання біомаси не враховуються, так як біопаливо вважається CO₂-нейтральним паливом. Прийняття розроблених законопроектів сприятиме усуненню бар'єрів у залученні інвесторів до встановлення установок на біопаливі та стимулюванню впровадження біоенергетичних проєктів. Тому дослідження направлені на оцінювання викидів шкідливих речовин при роботі дизельних двигунів на біопаливі мають перспективні для подальшої конвертації дизельних двигунів для роботи на біопаливі [1].

Значною перевагою рослинних олій є те, що при потраплянні їх в ґрунт основні хімічні сполуки, що входять до їх складу через пару тижнів розпадаються [2, 5]. 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_x), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів які не згоріли (CH_x) та сажі (C). Але при цьому необхідно відмітити, що використання палив на рослинній основі містить в собі і певні проблеми, пов'язані в першу

чергу із необхідністю підготовки палива, через необхідність врахування їх фізико-хімічних властивостей що важливо для правильної експлуатації двигуна і запобігання його поломок [3].

В даній статті представлені результати експериментальних досліджень щодо визначення екологічних показників під час роботи на соєвій олії дизельного двигуна 6 ЧН 26/34, що призначений для локального резервного забезпечення споживача електричною енергією. Даний дизельний двигун має нерозділену камеру згоряння типу «Гесельман», газотурбінний наддув та проміжне охолодження надувного повітря. Крім техніко-економічних показників в ході даного випробування знімалися кількісні показники викидів відпрацьованих газів [2, 4].

Особливість паливної системи дизеля, використана в ході експериментальних досліджень, полягає в тому, що вона забезпечує роботу дизеля як на дизельному паливі, так і на соєвій олії. При роботі дизельного двигуна на дизельному паливі, паливо подається з живильного бака (20) через фільтр тонкого очищення (9) до паливних насосів (3).

При роботі на соєвій олії, паливо перед подачею в систему попередньо підігрівається до температури 70–75 °С. Підігрів здійснюється в баку (12) водою, яка нагрівається в електричному котлі (13) і подається циркуляційним водяним насосом (16) в змішувач резервуара.

Термометри (18) встановлюються на корпусах бака (12) і котла (13) для контролю температури води і палива. Підігріте і відфільтроване в системі очищення паливо подається насосом (14) в двигун і через фільтр тонкого очищення палива (9) надходить на паливні насоси високого тиску (3), а надлишок повертається з паливної мережі назад в паливний бак (12). Надлишок палива з форсунок збирається в паливний колектор витоків і також направляється в паливний бак.

Метою випробування було визначення величини викидів шкідливих компонентів у вихлопних газах дизельного двигуна при роботі дизель-генератора на соєвій олії. Параметри ДГУ-900 вимірювалися при режимах, відповідних 50, 75 і 100% від номінальної потужності дизель-генератора. Навантаження задавалися активними опорами і паралельною роботою з електроенергетичною системою.

Відповідно для ДГУ-900 реальна потужність складала: 903 кВт (100% від номінальної); 675 кВт (75%) та 453 кВт (50%) при обертах валу 750 хв⁻¹;

Експериментальне дослідження проводилось за наступних умов навколишнього середовища: тиск – 100,5 кПа; температура – 295 К.

Витрата соєвої олії та дизельного палива проводилися ваговим методом. Також стенд для нагрівання соєвої олії обладнали паливним баком з підігрівом (фото 3). Підігріту соєву олію заливали в витратний



Рис. 1. Дизель-генераторна установка ДГУ-900

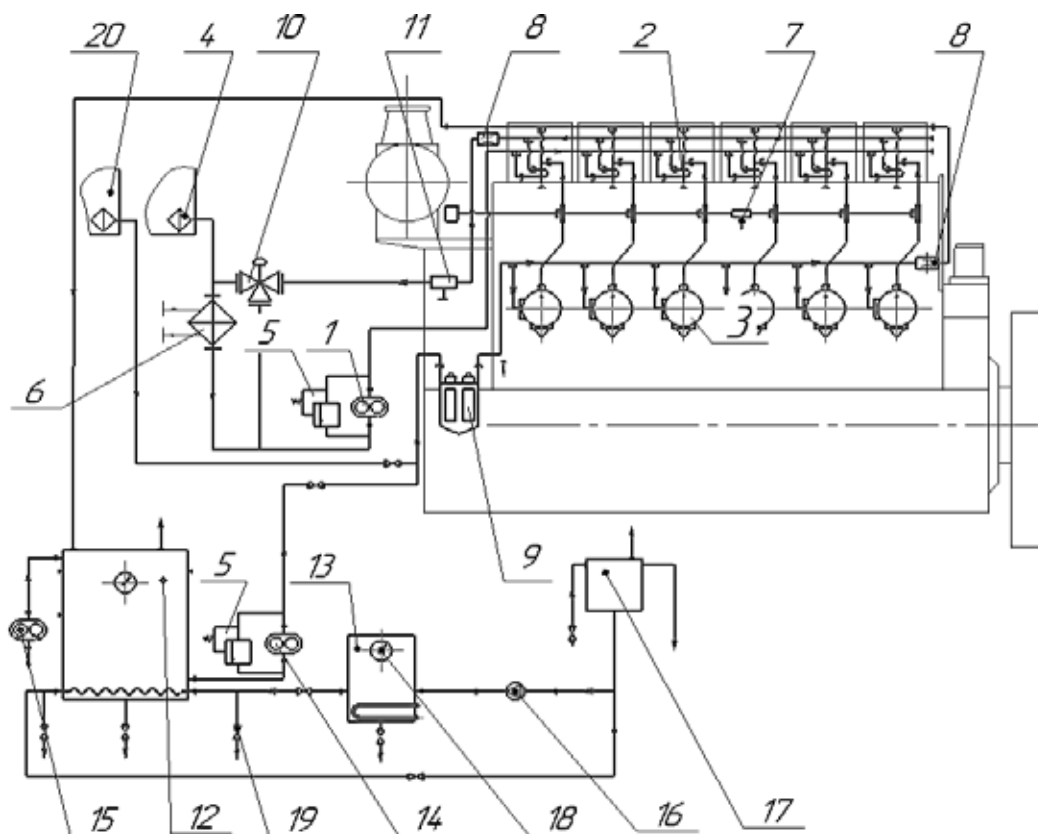


Рис. 2. Принципова схема дизельної паливної системи при роботі на соєвій олії:

1 – паливний насос; 2 – труба охолодження; 3 – паливний насос високого тиску; 4 – ситечко; 5 – редукційний клапан; 6 – радіатор палива; 7 – нагнітальний клапан; 8 – дросельна заслінка; 9 – фільтр тонкого очищення палива; 10 – регулятор температури; 11 – ресивер; 12 – бак для подачі рослинного масла; 13 – електричний котел; 14 – насос подачі рослинного масла; 15 – насос подачі палива в резервуар подачі; 16 – водяний насос; 17 – розширювальний бак; 18 – термометр; 19 – запірна арматура; 20 – бак подачі дизельного палива.

бак, в якому на підлозі встановлювалися електронні ваги (типу ВН-300-1) з діапазоном вимірювання 0–300 кг.

Місцем для заміру параметрів токсичності став отвір у вихідному патрубку равлика газової турбіни турбокомпресора ТК-23. При цьому робочий діапазон температур відпрацьованих газів знаходився в межах 618...665 К. Використані під час випробувань стандартні та додаткові прилади, були повірені та налаштовані і мали повну відповідність діючим стандартам. Під час випробувань використана сира нерафінована соєва олія [4].

Фізико-хімічні показники соєвої олії приведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники соєвої олії

Найменування показників	Соєва олія
Щільність при температурі 15 °С, кг/м ³	920
Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	37050
Кінематична в'язкість, мм ² /с (при 15 °С)	57,5
Динамічна в'язкість (мПа·с) (при 15 °С)	56,4
Температура запалення в °С	312

На основі даних отриманих в ході експериментального дослідження було отримано результати представлені в таблиці 2. Робота з приладом Testo 350 дала можливість отримати для трьох режимів навантаження дані по таким компонентам відпрацьованих газів як: кисень, діоксид вуглецю, монооксид вуглецю та оксиди азоту. Вимірювання зазначених компонентів здійснювалося в % та в ppm. Аналіз отриманих результатів оброблених протоколів дослідження показав несуттєве зростання для всіх шкідливих компонентів із збільшенням навантаження окрім кисню, для якого тренд має напрям на зниження.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати даних досліджень обговорювалися на засіданні кафедри Енергетичного машинобудування Первомайського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова спільно з представниками фірми «Мотортех» (головний інженер «Мотортех» Дубовець А.). Також часткові результати досліджень



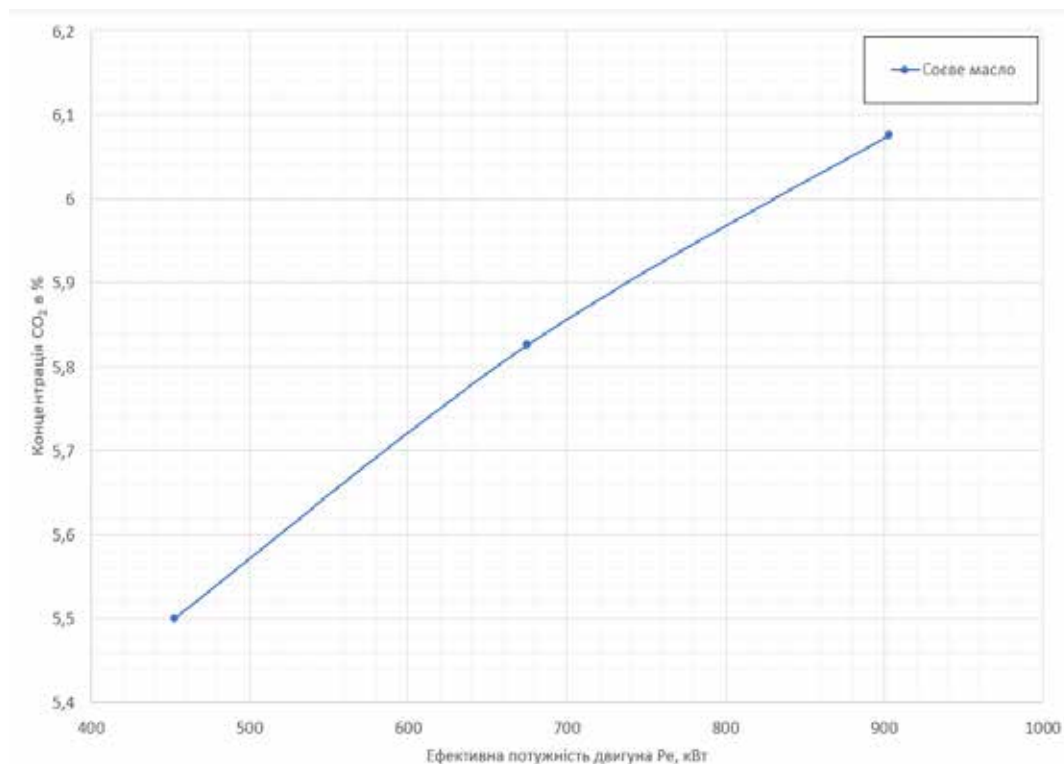
Рис. 3. Система подачі соєвої олії дизеля розміщено на випробувальному стенді



Рис. 4. Паливний бак, з підігрівом соєвої олії

Таблиця 2. Результати замірів викидів з випускними газами.

Параметри	Розмірність	Потужність дизель-генератора, 453 кВт			
1. Коефіцієнт надлишку повітря α	-	2,79	2,80	2,81	2,82
2. Концентрація O_2	%	13,3	13,2	13,5	13,4
3. Концентрація CO_2	%	5,5	5,4	5,5	5,6
4. Концентрація NO_x	ппм	1300	1305	1310	1315
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	2150	2153	2152	2154
5. Концентрація CO	ппм	58	61	60	59
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	61	59	60	61
6. Температура газів в місці заміру.	К	618	625	623	621
Параметри	Розмірність	Потужність дизель-генератора, 675 кВт			
1. Коефіцієнт надлишку повітря α	-	2,60	2,62	2,61	2,63
2. Концентрація O_2	%	13,1	13,0	13,2	12,9
3. Концентрація CO_2	%	5,8	5,9	5,7	5,9
4. Концентрація NO_x	ппм	1405	1408	1406	1409
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	2165	2168	2170	2166
5. Концентрація CO	ппм	77	78	80	79
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	72	73	71	74
6. Температура газів в місці заміру.	К	651	649	648	650
Параметри	Розмірність	Потужність дизель-генератора, 903 кВт			
1. Коефіцієнт надлишку повітря α	-	2,55	2,56	2,54	2,55
2. Концентрація O_2	%	12,7	12,8	12,9	12,8
3. Концентрація CO_2	%	6,0	6,1	6,2	6,0
4. Концентрація NO_x	ппм	1407	1409	1410	1408
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	2115	2117	2118	2116
5. Концентрація CO	ппм	88	89	90	89
	мг/м ³ ($O_{2H}=15\%$)	80	81	79	82
6. Температура газів в місці заміру.	К	658	662	663	665

Рис. 5. Залежність викидів CO_2 від навантаження

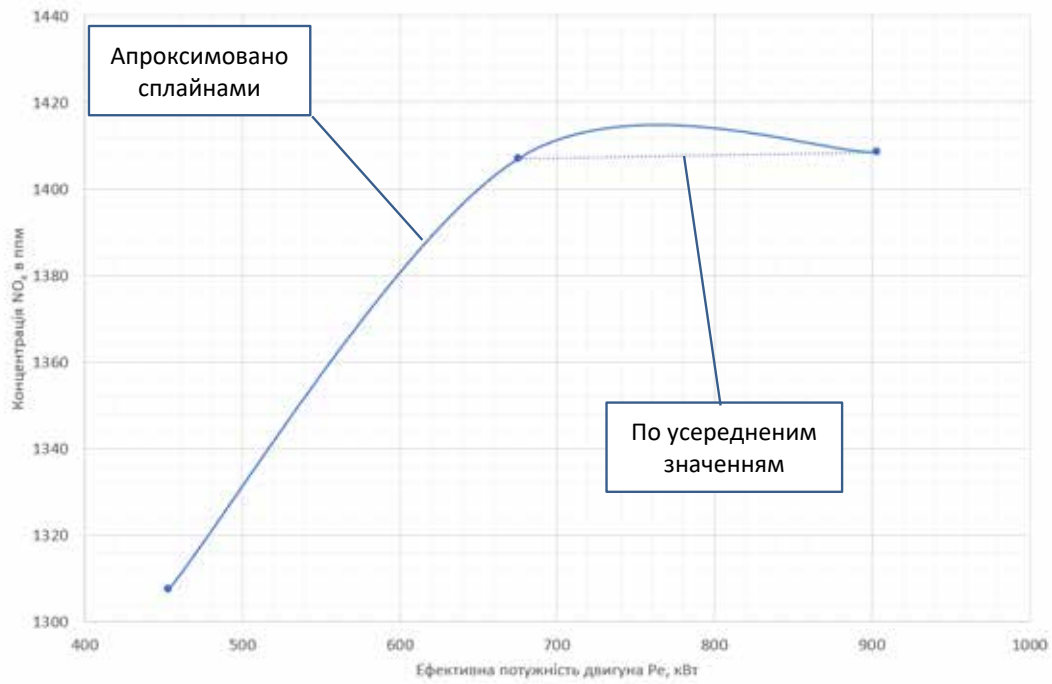


Рис. 6. Залежність викидів NO_x від навантаження

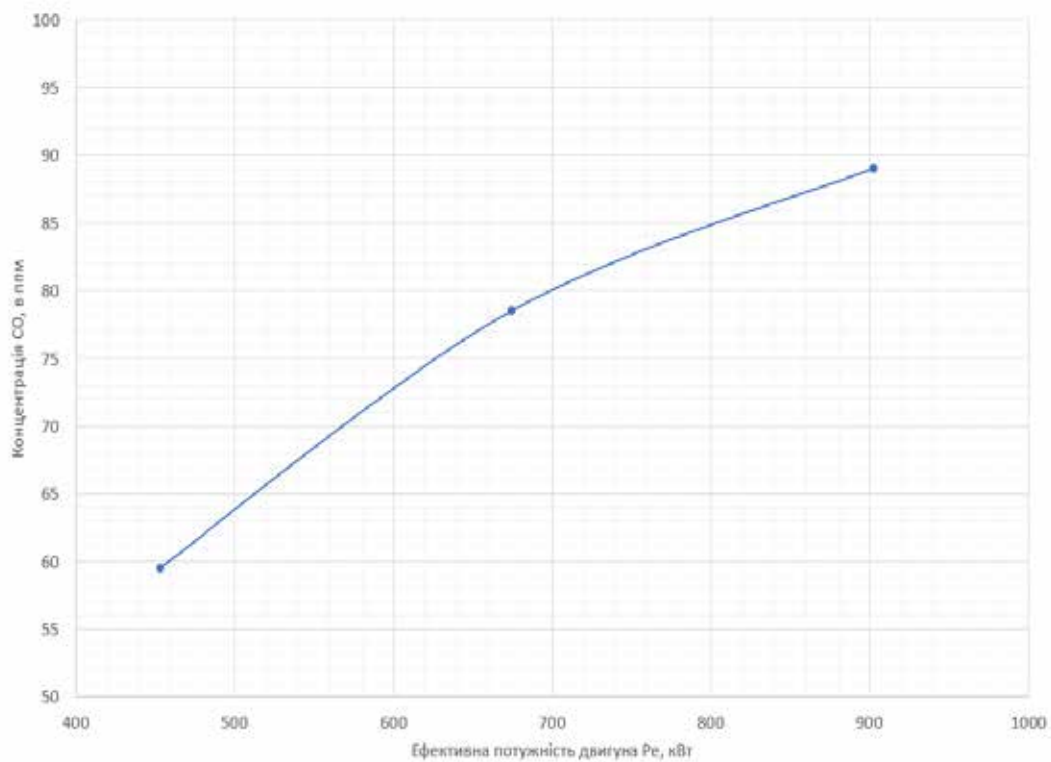


Рис. 7. Залежність викидів CO від навантаження

публікувались в журналі «Двигуни внутрішнього згоряння». – № 2. 2021 р., та of 24th International Scientific Conference Transport Means: – Kaunas, Lithuania, 2020 р.

ВИСНОВКИ

1. Використання в якості моторного палива рослинних олій в сучасних реаліях перспективне враховуючи підтримку держави на законодавчому рівні.

2. Застосування палив, отриманих на основі рослинних олій має переваги завдяки зниженню викидів в атмосферу оксидів азоту, оксиду вуглецю та сажі, але й містить в собі проблеми, головною з яких є підготовка даного палива перед подачею в циліндр дизеля.

3. Аналіз отриманих результатів дослідження показав зростання для всіх компонентів із збільшенням навантаження окрім кисню, для якого тренд має напрям на зниження.

REFERENCES

- [1] S.M. Dotsenko, O.I. Hrabovenko (2022). Perspektyvy ta problemy vykorystannia biopalyva v dyzelnykh dvyhunakh. Materialy XIII mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii [Prospects and problems of using biofuels in diesel engines. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference]. Ukraine, Nikolaev. NUK –175-177p.
- [2] I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. (2020). Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil. Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means: – Kaunas, Lithuania, 2020. Part, 1038p., ISSN 2351-7034 pp. 671-675
- [3] Oshovsky, V.Y., (2019). Vzaemodiia roslinnykh olii z robochymy kontaktnymy poverkhniamy detalei palyvnoi aparatury dyzelnykh dvyhuniv [Interaction of vegetable oils with working contact surfaces of parts of fuel equipment of diesel engines]. V. Y. Oshovsky, O. I. Hrabovenko, I. A. Shvets // Design, production and operation of agricultural machinery: national interdepartmental science-technical collection – Kropyvnytskyi: CNTU. Issue 49. P. 186-193.
- [4] O.I. Hrabovenko, S.M. Dotsenko, V.V. Nesterenko, I.A. Shvets. (2021). The use of vegetable oil as fuels in a medium-speed diesel engine. Internal combustion engines–No 2. ISSN 0419-8719, 79-86 p.
- [5] Grabar, I.G. (2011). Biofuels based on oils for diesel engines: Monograph / I.G. Grabar, R.V. Kolodnitskaya, V.G. Semenov. 139 p.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] С.М. Доценко, О.І. Грабовенко (2022). Перспективи та проблеми використання біопалива в дизельних двигунах. Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції. Україна, м. Миколаїв. НУК. С. 175-177.
- [2] I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. (2020). Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil. Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means: Kaunas, Lithuania, Part, 1038p., ISSN 2351-7034 pp. 671-675
- [3] Ошовський В.Я. (2019). 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 міжвідомчий наук.-технічний збірник. Кропивницький : ЦНТУ. Випуск 49. С. 186-193.
- [4] О.І. Грабовенко, С.М. Доценко, В.В. Нестеренко, І.А. Швець. (2021). Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні. Двигуни внутрішнього згоряння. № 2. ISSN 0419-8719, 79-86 с.
- [5] Грабар І.Г. (2011). Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: Монографія / І.Г. Грабар, Р.В. Колодницька, В.Г. Семенов. 139 с.

© Доценко С. М., Грабовенко О. І., Швець І. А., Лисих А. Ю.
Дата надходження статті до редакції: 11.06.2023
Дата затвердження статті до друку: 30.06.2023