

## АНОТАЦІЯ

**Бурлака С.А. Підвищення ефективності використання машинних агрегатів при роботі на суміші палив.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 133-галузеве машинобудування. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2021.

Дана робота стосується актуальної науково-технічної проблеми підвищення ефективності використання машинних агрегатів при роботі на суміші палив. Одним з найбільш перспективних альтернативних видів палива є біопалива, застосування якого дозволить скоротити споживання нафтового палива і зменшити кількість агресивних викидів в атмосферу. Широке застосування нового виду палива неможливе без проведення всебічного, комплексного аналізу з вивчення впливу значень показників біопалива на надійність роботи елементів паливної апаратури. А це в свою чергу впливає на техніко-економічні та експлуатаційні показники двигуна внутрішнього згоряння.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідною темою, поставлено мету та визначено завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У першому розділі зроблено огляд літературних джерел з питань використання модернізованих систем живлення та пристроїв для роботи на біопаливі та його сумішах, досліджено вплив паливних сумішей на роботу енергетичного агрегату та проаналізована математична модель розрахунку індикаторних показників двигуна Лишевського О.С. та уточнена професором Разлейцевим М.Ф.

У другому розділі наведена удосконалена система живлення дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші, розроблено змішувач для забезпечення машинного агрегату сумішевим паливом, обґрунтуванні режими роботи машинно-тракторного агрегату (МТА), розроблено фізико-математичну модель роботи МТА. Розроблена методика розрахунку нерозривності потоків робочої рідини на характерних ділянках удосконаленої системи живлення з визначенням витрат  $Q$  та тисків  $P$  на всіх ключових ланках системи та взаємозв'язок з техніко-економічними показниками двигуна. Розроблена методика побудови зовнішньої швидкісної характеристики, що знаходиться з індикаторної діаграми та впливає на ефективні показники  $N_e$  – потужність,  $G_T$  – годинну витрату палива,  $g_e$  – питому витрату двигуна та технологічні  $W$  - продуктивність, з урахуванням коефіцієнта суміші  $\alpha$ . Визначені критерії оптимізації роботи машинного агрегату від вмісту біопалива.

У третьому розділі наведено програму та методику визначення роботи машинно-тракторного агрегату з використанням біопалива та його сумішей. Розроблено алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням сумішевого палива для забезпечення ефективної роботи з урахуванням навантажувально-швидкісних характеристик та режимів роботи. Проведено оптимізацію геометричних параметрів ротора Савоніуса розробленого змішувача з метою досягнення найбільш доцільного конструктивного рішення. Запропоновано багаторівневий експеримент та вибрано два незалежних фактори – навантаження двигуна (зусилля силовимірjuвального механізму  $P$ , кг) та вид палива, а для отримання тягової характеристики трактора запропоновано повнофакторний багаторівневий експеримент, з трьома незалежними факторами: передаточне число коробки передач (з урахуванням понижуючого редуктора), глибина обробітку та вид застосовуваного палива.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних індикаторних та тягових характеристик МТА при виконанні операції оранки та визначення впливу біопалива і його сумішей на ефективні показники роботи дизельного двигуна, зміни кута впорскування палива в залежності від фізико-хімічних властивостей палив та

досліджень режимів роботи машинно-тракторного агрегату при роботі на суміші палив. Перевірка адекватності математичної моделі підтверджує ефективність використання сумішевого палива з вмістом біокомпонента до 50%. При збільшенні спостерігається погіршення техніко-економічних показників. Встановлено, що до 30% біопалива у суміші робота досліджуваного дизельного двигуна не погіршується при змінні навантаження та швидкісних режимів. Дослідження параметрів паливopодачі показав, що діаметр краплі при використанні ріпакової олії збільшився на 9%, кут впорскування зменшився на 9%, а на стінки камери згорання при використанні дизельного пального потрапляє лише 59% палива, а при застосуванні ріпакової олії 79%, що призводить до порушення процесів сумішоутворення. Тому використання системи живлення зі змішувачем забезпечує роботу двигуна та отриманням навантажувально-швидкісних характеристик, що відповідають використанню дизельного палива.

Визначено різницю відкриття дроселя подачі ДП та БП, що відповідає необхідному відсотковому співвідношенню. Даний показник впливає на техніко-економічні показники двигуна, збільшення вмісту рослинного палива, спричиняє збільшення питомої витрати палива, так при  $\Delta S = 0,5$ , що відповідає відношенню 5%ДП/95%БП  $g_e = 267$  г/(кВт год), крутний момент при роботі на сумішевому паливі 5%ДП/95%БП на 9,9% більший порівняно з 95%ДП/5%БП, а економія палива при роботі на сумішевому паливі 5%ДП/95%БП на 3,9% менша порівняно з 95%ДП/5%БП. Потужність при збільшенні вмісту біопалива до 95% падає на 10%.

За допомогою розробленої методики та проведеного за нею експерименту, визначено взаємозв'язок факторів, які впливають на роботу МТА який представлено у вигляді рівнянь регресії, що дало можливість вибрати передаточне число коробки передач та кількість плужних корпусів залежно від умов та ефективності роботи орного машинно-тракторного агрегату з використанням суміші палив. За отриманими рівняннями побудовані поверхні відгуків критеріїв оптимізації: технологічного критерію (питома витрата палива  $g_e$ ), критерію ефективності (продуктивність  $W$ ) та економічного критерію (погектарна витрата палива). Комплексний критерій оптимізації  $A_u$ , що оцінює вплив всіх трьох критеріїв, має

становити для дизельного палива не більше 0,659, для Б20 – 0,812 для Б50 – 1,064 і для біопалива 2,87. Нерівномірність обертання модернізованого двигуна збільшується на холостому ходу по мірі збільшення частоти обертання (від 13,7 до 39%). Це пояснюється збільшенням дії інерційних сил неврівноважених мас. Нерівномірність збільшується також по мірі збільшення навантаження (від 6,0 до 10,1%). Це пояснюється збільшенням середнього ефективного тиску в циліндрах двигуна внаслідок збільшення циклової подачі палива.

Встановлено, що основними діагностичними показниками є параметри паливоподачі та індикаторні характеристики. Особливо важливу роль вони відіграють при перехідних процесах або різких змінах навантаження.

У п'ятому розділі визначена економічна обґрунтованість виготовлення змішувача та термін окупності удосконаленої система живлення та змішувача.

Наукова новизна одержаних результатів.

*Вперше:*

- встановлено вплив біопалива та його сумішей на техніко-економічні показники машинного агрегату;
- розроблено систему змішування ДП та БП палив зі змішувачем та електронним керуванням, чутливу до навантажувально-швидкісних режимів роботи МТА для отримання суміші різного відсоткового співвідношення;
- вирішена задача оптимізації режимних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату за рахунок регулювання відсоткового складу сумішевого палива;

*Отримали подальший розвиток:*

- визначення режимів функціонування машинного агрегату в залежності від співвідношення компонентів біопалива;
- обґрунтування теоретичних залежностей конструктивно-режимних параметрів системи змішування для приготування біопаливної суміші та підвищення ефективності функціонування машинних агрегатів.

*Удосконалено:*

– систему живлення дизельного двигуна з електронним регулювання складу палива.

- систему змішування дизельного двигуна для роботи на суміші палив з дроселями для регулювання складу дозованої паливної суміші;

- змішувач біопаливної суміші з використанням ротора Савоніуса на базі фільтра тонкої очистки двигуна Д-240.

Практичне значення одержаних результатів досліджень, теоретичних узагальнень та розробок, полягає у вирішенні проблем, які мають важливе прикладне значення. Результати дослідження впливу паливних сумішей на ефективність роботи машинних агрегатів дозволяють максимально збільшити вміст біопалива у суміші зі збереженням техніко-економічних показників для виконання технологічної операції оранки. Розроблена система живлення та змішувач дозволяють з мінімальними затратами на переобладнання використовувати біопаливо як в чистому так і у вигляді сумішей палива зі збереженням всіх енергетичних показників машинного агрегату.

**Ключові слова:** машинний агрегат, ефективність, оптимізація, індикаторні показники, сумішевий коефіцієнт, система живлення, змішувач, біопаливо, дизельний двигун, суміш, трактор.

## ABSTRACT

**Burlaka S.A. Increasing the efficiency of using machine units when working on a fuel mixture.** Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis on obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on the specialty 133 – mechanical engineering. Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, 2021.

This work concerns the relevant scientific and technical problem of improving the efficiency of machine units while working with a mixture of fuels. One of the most promising alternative fuels is biofuels, the use of which will reduce the consumption of petroleum fuels and diminish the amount of aggressive emissions into the atmosphere. The widespread use of a new type of fuel is impossible without a comprehensive, complete analysis in studying the impact of the values of biofuels on the reliability of the elements of the fuel equipment. In turn this affects the technical, economic and operational performance of the internal combustion engine.

In the introduction the relevance of the study substantiates, connects the work with the research topic, sets the goal and objectives of the study, object and subject of research, lists the research methods used to achieve the goal of the dissertation. The scientific novelty, practical significance of the obtained results and personal creative contribution of the applicant are formulated. Information on approbation and publication of research results is given.

The first part reviews the literature on the use of modernized power systems and devices for biofuel and its mixtures, the impact of fuel mixtures on the operation of the power unit and analysed the mathematical model for calculating the indicators of the engine Lyshevskiy O.S. and specified by professor Razleytsev M.F.

The second part reveals the improved diesel engine power system with electronic control of the composition of the metered fuel mixture, developed a mixer to provide the machine unit with mixed fuel, substantiation of the modes of operation of the machine-tractor unit (MTU), and developed a physical and mathematical model of MTA. A method for calculating the continuity of working fluid flows in the characteristic areas of the advanced power supply system with the definition of the flow  $Q$  and pressures  $P$  at all key

parts of the system and the relationship with the technical and economic performance of the engine. The method for constructing an external speed characteristic within the indicator diagram and influencing the effective indicators  $N_e$  – power,  $G_r$  – hourly fuel consumption,  $g_e$  – specific engine consumption and technological  $W$  – productivity, taking into account the mixture coefficient  $\alpha$ . Criteria for optimizing the operation of the machine unit from the biofuel content have been determined.

The third part presents the program and methods for determining the operation of the machine-tractor unit using biofuels and their mixtures. An algorithm for the operation of the machine-tractor unit using mixed fuel to ensure efficient operation, taking into account the load-speed characteristics and operating modes. The geometrical parameters of the Savonius rotor of the developed mixer have been optimized in order to achieve the most expedient design solution. A multilevel experiment is proposed and two independent factors are chosen - engine load (force of the power measuring mechanism  $P$ , kg) and type of fuel, and a full-factor multilevel experiment is proposed to obtain the traction characteristic of the tractor, with three independent factors: gear ratio, depth of cultivation and type of fuel used.

The fourth part presents the results of experimental indicator and traction characteristics of MTU in plowing and determining the effect of biofuel and its mixtures on the efficiency of the diesel engine, changes in fuel injection angle depending on the physicochemical properties of fuels and studies of machine-tractor unit at work on a mixture of fuels. Checking the adequacy of the mathematical model confirms the efficiency of mixed fuel with a bio-component content of up to 50%. With increasing the deterioration of technical and economic indicators takes place. It is established that up to 30% of biofuel in the mixture the performance of the studied diesel engine does not deteriorate when changing the load and speed. The study of fuel supply parameters showed that the diameter of the drop when using rapeseed oil increased by 9%, the injection angle decreased by 9%, and the walls of the combustion chamber when using diesel fuel gets only 59% of fuel, and when using rapeseed oil 79%, which leads to violation of mixing processes. Therefore, the use of a power supply system with a mixer

ensures the operation of the engine and obtaining load-speed characteristics that correspond to the use of diesel fuel.

The difference between the opening of the supply throttle DP and BP, which corresponds to the required percentage. This indicator affects the technical and economic performance of the engine, increasing the content of vegetable fuel, causes an increase in specific fuel consumption, so at  $\Delta S = 0.5$ , which corresponds to a ratio of 5% DP / 95% BP  $g_e = 267 \text{ g / (kWh)}$ , torque when working on mixed fuel 5% DP / 95% PSU is 9.9% higher compared to 95% DP / 5% BP, and fuel savings when working on mixed fuel 5% DP / 95% BP by 3.9% less compared to 95% DP / 5% BP. Power increases with biofuel content to 95% by 10%.

With the help of the developed technique and the experiment conducted on it, the interrelation of factors influencing the work of MTU is determined, which is presented in the form of regression equations, which allowed to choose the gear ratio and the number of plows depending on the conditions and efficiency of plowing. unit using a mixture of fuels. According to the obtained equations, the response surfaces of the optimization criteria are constructed: technological criterion (specific fuel consumption  $g_e$ ), efficiency criterion (productivity  $W$ ) and economic criterion (per hectare fuel consumption). The complex optimization criterion  $A_u$ , which evaluates the impact of all three criteria, should be no more than 0.659 for diesel fuel, 0.812 for B20, 1.064 for B50 and 2.87 for biofuel. The uneven rotation of the upgraded engine increases at idle as the speed increases (from 13.7 to 39%). This is due to the increase in the action of inertial forces of unbalanced masses. The unevenness also increases as the load increases (from 6.0 to 10.1%). This is due to the increase in the average effective pressure in the engine cylinders due to the increase in the cyclic fuel supply.

It is established that the main diagnostic indicators are fuel supply parameters and indicator characteristics. They play a particularly important role in transients or sudden changes in load.

The fifth section defines the economic feasibility of manufacturing a faucet and the payback period of an advanced power supply and faucet system.

Scientific novelty of the obtained results.



For the first time:

- the influence of biofuel and its mixtures on technical and economic indicators of the machine unit is established;

- developed a system of mixing DP and BP fuels with a mixer and electronic control, sensitive to the load-speed modes of operation of the MTU to obtain a mixture of different percentages;

- solved the problem of optimizing the operating parameters of the machine-tractor unit by adjusting the percentage of mixed fuel;

Received further development:

- determination of operating modes of the machine unit depending on the ratio of biofuel components;

- substantiation of theoretical dependences of constructive-mode parameters of mixing system for preparation of biofuel mixture and increase of efficiency of functioning of machine units.

Improved:

- diesel engine power supply system with electronic fuel composition regulation.
- mixing system of the diesel engine for work on a mix of fuels with throttles for regulation of structure of the dosed fuel mix;

- biofuel mixture mixer using Savonius rotor based on D-240 fine filter engine.

The practical significance of the obtained results of research, theoretical generalizations and developments is to solve problems that have important applied value. The results of the study of the influence of fuel mixtures on the efficiency of machine units allow maximizing the content of biofuels in the mixture while maintaining the technical and economic indicators to perform the technological operation of plowing. The developed power supply system and the mixer allow to use biofuel both in pure and in the form of mixes of fuel with the minimum expenses for re-equipment with preservation of all power indicators of the machine unit.

**Key words:** machine unit, efficiency, optimization, indicator number, mixture coefficient, power supply system, mixer, biofuel, diesel engine, mixture, tractor.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Гунько І.В., П'ясецький А.А., Бурлака С.А. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2 (97). С.47-51.
2. Гунько І.В., Ярощук Р.О., Бурлака С.А. Вибір оптимальної методики покращення складу сумішевого біопалива з рослинних олій. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. №4. С. 123–127.
3. Гунько І.В., Єленич А.П., Бурлака С.А. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. №6 (267). Том 2. С. 246–249.
4. Гунько І.В., Галушак О.О., Бурлака С.А. Визначення факторів впливу біопалива на глобальні зміни клімату. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №3 (102). С. 90–97.
5. Галушак О.О., Бурлака С.А., Галушак Д.О., Малаков О.І. Обґрунтування впливу температури компонентів сумішевого палива на роботу двигуна. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. №1 (9). С. 38–43.
6. Бурлака С.А., Явдик В.В., Єленич А.П. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. №2 (271). С. 212–220.
6. Малаков О.І., Бурлака С.А., Михальова Ю.О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. №5 (277). С. 30-33.
8. Бурлака С.А. Розробка змішувача біодизельного палива та моделювання процесу змішування. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1 (11). С. 11-17.
9. Гунько І.В., Бурлака С.А. Математичне моделювання роботи системи живлення дизельного двигуна працюючого на біопаливі з дросельним регулювання складу паливної суміші. *The scientific heritage*. 2020. № 50. С. 34-38.

10. Система живлення дизельного двигуна з електронним регулюванням складу суміші: Пат. 125234, Пат. 125234 Україна: МПК F02M, 37/00. № 201705789; заявл. 12.06.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9. 4 с.

11. Бурлака С.А. Використання екологічних показників дизельних двигунів для визначення їх технічного стану. *Сучасний рух науки: X міжнародна науково-практична інтернет-конференція*, м. Дніпро. 2-3 квітня 2020 р. С. 174-178.

12. Бурлака С.А. Робота двигуна Д-240 при використанні біопалива обробленого ультразвуком. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: VIII міжнародна науково-практична інтернет-конференція*, м. Вінниця 14-15 квітня 2020 р. С. 71-74.

13. Бурлака С.А. Оцінка викидів автотранспорту на основі моделі GREET. *Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку: IV міжнародна науково-практична інтернет-конференція*, м. Бердянськ. 22-23 квітня 2020 р. С. 171-172.

14. Бурлака С.А. Вплив емульгованих палив на характеристики розпилення. *Інноваційні розробки в аграрній сфері: Міжнародна науково-практична конференція «Молодь і технічний прогрес в АПВ»*. м. Харків. 7-8 травня 2020 р. С. 4-6.

15. Бурлака С.А. Удосконалення системи живлення дизельного двигуна для роботи на біопаливі та його сумішах. *Science, society, education: topical issues and development prospects: Abstracts of VI international scientific and practical conference*. Kharkiv, Ukraine. 10-12 may 2020. С. 205-212.