

УДК 621.436.019.4.Т

А.Т. Лебедєв, М.Л. Шуляк, Є.І. Калінін

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Харків***ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ЗМІНИ
ЕФЕКТИВНОГО ПРОХІДНОГО ПЕРЕРІЗУ СОПЛОВИХ ОТВОРІВ РОЗПИЛЮВАЧА
ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА ПОТУЖІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МТА,
ПРАЦЮЮЧОГО НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА**

Розглянута методика планування експериментальних досліджень при вивченні впливу коксування форсунок дизельного двигуна, працюючого на альтернативних видах палива, на потужнісно-енергетичні показники машинно-тракторного агрегату (МТА). Отримано рівняння регресії, яке встановлює детермінований зв'язок між обертами колінчатого валу двигуна, домішками альтернативного палива до дизельного та зміною ефективного прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки з гаковою потужністю машинно-тракторного агрегату. Отримані поверхні відклику, за допомогою яких проаналізовані процеси, які викликані даним зв'язком.

Ключові слова: альтернативне паливо, форсунка, гакова потужність, МТА.

Вступ

В країнах Європи з кожним роком частка використання альтернативних видів палива збільшується. Виробництво і споживання біопалива всiяко підтримується Європою через ряд ухвалених стратегічних рішень. Система регулювання виробництва біопалива розвивалася в Європі протягом останніх років. У 2003 році була прийнята Директива, що встановлює цілі заміщення рідкого палива біопаливом (2% до 2006 року та 5,75% до 2012 року). Європейські фірми-виробники двигунів вже повним ходом ведуть розробки модифікації своєї продукції, для пристосування її до роботи на паливах біологічного походження. Вітчизняна техніка сильно відстає в цьому напрямку і одним з напрямків вирішення питання роботи на біологічних паливах є використання їх на вже існуючих моделях двигунів без суттєвих конструкційних змін.

Аналіз основних публікацій. В роботі Савельєва Г.С. [1] проведена величезна робота по вивченню питання використання альтернативних видів палива на дизельних двигунах. В роботі наведені результати експериментальних досліджень на двигунах тракторів МТЗ-80 та 82, К-700 і ХТЗ-150. Встановлено, що питома витрата палива збільшується при роботі дизеля Д-240 на сумішевому паливі пропорційно до зменшення теплоти згорання палива на 9%. Коректорний запас крутного моменту для роботи на сумішевому паливі складає 17,6%, а на дизельному паливі – 14,7%. Автор стверджує, що і на часткових швидкісних характеристиках суміш рапсової олії показує себе краще за дизельне паливо.

В роботі Сандомирського М.Г. [2] використання метилових ефірів ріпакової олії (МЕРО) як пали-

ва розглядається в контексті доцільності їх застосування в суміші з дизельним паливом в пропорції до 10...15% з попереднім підігріванням палива до температури, приблизно до 70°C. Встановлено, що для забезпечення техніко-економічних показників, близьких до показників чистого дизельного палива, необхідно провести удосконалення параметрів паливної апаратури. Також в роботі Сандомирського М.Г. вказано, що необхідно зробити висновок про термін служби елементів паливної апаратури до технічного обслуговування, але це можливо зробити тільки після тривалих експлуатаційних випробувань. При цьому коксування соплових отворів розпилювачів, при використанні як чистого, так і сумішевого біологічного палива є однією з найбільш важливих проблем, що стоять перед тракторною промисловістю і технологічною експлуатацією МТА.

В роботі Войтова В.А. [3] стверджується необхідність скоротити строки технічного обслуговування розпилювачів форсунок в наслідок коксування, проте автор звертає увагу, що немає достовірних даних про характер залежностей зміни пропускної спроможності розпилювачів від часу напрацювання, для визначення яких необхідне проведення тривалих експлуатаційних випробувань.

В роботі [4] на основі експериментальних досліджень встановлено, що питома витрата палива при експлуатації машинно-тракторного агрегату вище 1000 годин зростає на 7,4% внаслідок коксування соплових отворів розпилювача форсунки дизеля. Також при цьому можна зазначити втрату потужності двигуна на 5,2% відносно базових показників.

Тобто висновки про потужнісно-енергетичні показники МТА, працюючого на альтернативних видах палива, без врахування зниження потужності

двигуна в наслідок коксування соплових отворів та меншої теплотворної спроможності палива не в повному обсязі відтворюють розвиток процесу. Вплив цих чинників на кривову потужність не вивчався в комплексі, в той час як отримання таких залежностей може суттєво спростити адаптацію двигунів до використання альтернативних видів палива.

На основі проведеного аналізу існуючих робіт в розрізі обраної тематики поставлена наступна мета досліджень.

Мета досліджень. Методами планування експерименту отримати рівняння регресії, яке встановлює детермінований зв'язок між обертами колінчатого валу двигуна, домішками альтернативного палива до дизельного та зміною ефективного прохідного перерізу соплових отворів форсунки з гаковою потужністю машино-тракторного агрегату. На основі отриманого рівняння регресії, провести аналіз зміни потужностно-енергетичних показників МТА в залежності від вибраних факторів.

Основний матеріал

В роботі [5] запропоновано розраховувати гакову потужність з врахуванням коефіцієнту, який враховує її зміну в наслідок коксування соплових отворів розпилювача форсунки дизеля.

Вираз для визначення гакової потужності, в такому випадку, буде мати вигляд:

$$N_{\text{гак}} = \left[\frac{\Delta \cdot N_e \cdot \frac{r_k}{r_d} \cdot \eta_{\text{ТР}} - \gamma_{\text{ш}} \frac{G_i^3}{4\pi r_{\text{ш}}^2 r_c^3 \left(\frac{\pi\alpha}{180^\circ} - \sin\alpha \right)} \cdot V_T \right] \cdot (1 - \delta),$$

де Δ – коефіцієнт, що враховує зміну ефективного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки в наслідок коксування; N_e – ефективна потужність двигуна, кВт; $\eta_{\text{ТР}}$ – механічний К.К.Д. трансмісії; r_d – динамічний радіус ведучих коліс, м; r_k – теоретичний радіус ведучих коліс, м; G_i – вертикальне навантаження на i -е колесо, Н; $\gamma_{\text{ш}}$ – коефіцієнт пропорційності; $r_{\text{ш}}$ – тиск повітря в камері шини, Па; r – вільний радіус шини, м; r_c – радіус перерізу шини, м; α – кут обхвату шини ґрунтом, град; δ – буксування рушіїв, %; V_T – теоретична швидкість руху, м/с.

Значення коефіцієнту Δ базуються на основі експериментів та розраховуються за формулою:

$$\Delta = 1 - \frac{\mu F - \mu F'}{\mu F},$$

де μF – ефективний переріз соплових отворів нового розпилювача, м²; $\mu F'$ – ефективний переріз соп-

лових отворів розпилювача після експлуатації, м².

Для оцінки впливу зменшення сумарного ефективного прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки дизеля та домішок альтернативного палива до дизельного на гакову потужність для визначення найбільш раціонального функціонування енергетичної установки реалізований трьохрівневий план експерименту Бокса-Бенкіна для трьох факторів.

Для планування експериментальних досліджень вибрані наступні фактори: значення коефіцієнту Δ , який впливає на зменшення ефективного сумарного прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки дизеля в наслідок коксування, частота обертання колінчатого валу двигуна та відсоткове співвідношення альтернативного та дизельного палива в їх суміші. При цьому максимальне значення коефіцієнту Δ вибране з урахуванням падіння потужностних характеристик двигуна в інтервалі, встановленому ГОСТ 18509-88.

Фактори та їх рівні вибрані з врахуванням плану першого порядку та наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори та їх рівні, які використані для визначення рівняння регресії

Назва фактору та одиниці його вимірювання	Позначення фактора	Рівень фактора		
		-1	0	+1
Коефіцієнт Δ	X_1	1	0,97	0,947
Частота обертання колінчатого валу двигуна, n , об/хв	X_2	1400	1800	2200
Домішка альтернативного палива до дизельного, %	X_3	0	50	100

Після проведення експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, яке описує зміну гакової потужності трактора в залежності від обраних параметрів. Після врахування коефіцієнтів значимості при кожній складовій дане рівняння отримує лінійний характер:

$$N_{\text{гак}} = -31,4413 + 31,9934 \cdot X_1 + 0,0147 \cdot X_2 - 0,1301 \cdot X_3 - 0,00022 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,055 \cdot X_1 \cdot X_3.$$

Матриця плану експерименту та значення критерію оптимізації при реалізації даного плану наведені в табл. 2.

Розрахунком встановлено, що помилка апроксимації рівнянням регресії складає 5,1%, що не перевищує встановлені 12...15%.

Окрім того, для перевірки відповідності отриманої моделі експериментальним даним розрахований F -критерій Фішера, який склав 1,396. Таке значення даного критерію не перевищує граничне значення для ймовірності 0,95 – 2,4, отже можна говорити про те, що отримане рівняння адекватно описує реальний процес.

Таблиця 2

Матриця плану експерименту та значення гакової потужності трактора

Фактори			Значення гакової потужності трактора, кВт	
X_1	X_2	X_3	середнє експериментальне	за моделлю регресії
-1	0	-1	25,90	26,62
0	0	0	25,40	27,62
-1	1	0	21,76	22,86
0	0	0	21,15	21,83
1	0	-1	24,89	24,94
1	0	1	12,96	11,34
-1	-1	0	26,43	28,65
0	1	1	23,04	23,78
1	1	0	24,87	26,83
0	1	-1	18,06	19,87
0	-1	1	13,34	12,19
0	-1	-1	25,39	25,67
-1	0	1	14,58	13,31
1	-1	0	20,49	21,04
0	0	0	21,15	21,83

Проаналізувавши рівняння регресії можна зробити висновок, що коефіцієнт Δ , що впливає на зменшення ефективного сумарного прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки дизеля в наслідок коксування, є першочерговим фактором, який необхідно враховувати при розрахунку потужностних характеристик трактору на ряду з частотою обертання колінчатого валу двигуна та відсотковим співвідношення біопалива і дизельного палива в суміші.

На основі отриманого рівняння регресії побудовані поверхні залежності гакової потужності енергетичного засобу $N_{\text{Гак}}$ від обертів колінчатого валу n та коефіцієнту Δ при домішці альтернативного палива до дизельного в найбільш поширених значеннях – 10, 20 та 30% (рис. 1).

На основі аналізу побудованих поверхонь можна зробити висновок, що між обраними факторами та гаковою потужністю енергетичного засобу існує детермінований зв'язок, який неприпустимо ігнорувати при потужностно-енергетичних розрахунках машино-тракторного агрегату.

Подальшим аналізом отриманого рівняння регресії встановлено, що час коксування соплових отворів розпилювача форсунки двигуна (зменшення коефіцієнту Δ) залежить від напрацювання двигуна на певному співвідношенні альтернативного та дизельного палива. Даний коефіцієнт наближається до свого найменшого значення зі швидкістю, яка пропорційна збільшенню частки альтернативного палива в суміші. Гранично допустиме значення коефіцієнту $\Delta = 0,95$. Для дизельного палива таке значення коефіцієнту Δ буде досягнуто через 1000 мотогодин роботи, що підтверджує норми, встановлені ГОСТами. А для альтернативного палива (етиловий ефір рапсової олії) – через 330 мотогодин.

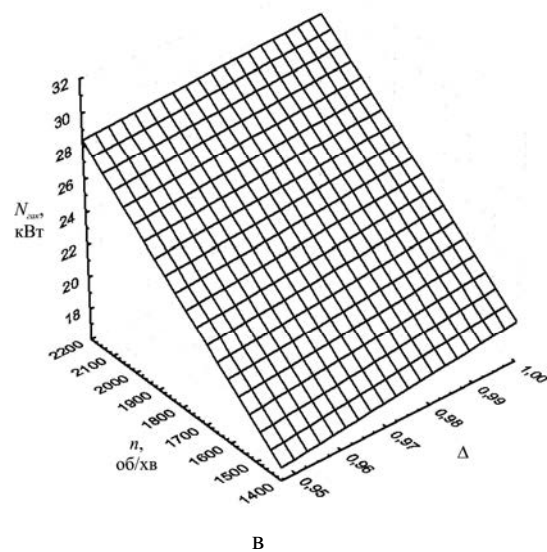
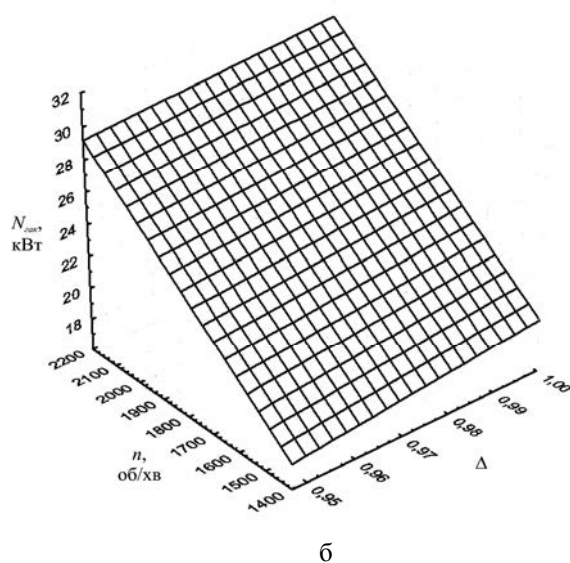
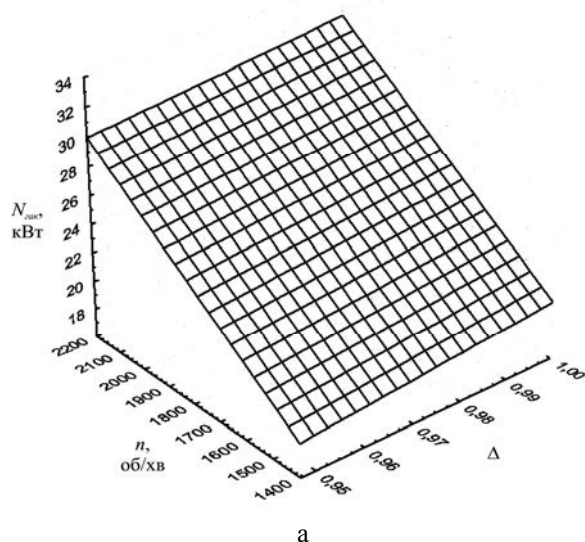


Рис. 1. Поверхні залежності гакової потужності енергетичного засобу $N_{\text{Гак}}$ від обертів колінчатого валу n та коефіцієнту Δ при домішці альтернативного палива до дизельного в 10% (а), 20% (б), 30% (в)

Також слід зазначити, що при зменшенні значення коефіцієнту Δ нижче його гранично допустимого значення інтенсивність погіршення потужностно-енергетичних параметрів роботи машино-тракторного агрегату (питома витрата палива та гакова потужність) втрачає прямолінійний характер та набуває форму зростаючої прогресії. Отже використання альтернативних видів палива без врахування даних фактів за нормами напруження до ТО-3 (які встановлені ГОСТ 20793-86) призведе до зменшення ефективності його використання.

Висновки

Зміна ефективного прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунки дизеля та процентне співвідношення альтернативного і дизельного палив в суміші є суттєвими чинниками, які впливають на потужностно-енергетичні параметри та ефективність роботи МТА, а тому рекомендації для використання цих видів палив повинні зазначати інші умови технічного обслуговування двигунів машино-тракторних агрегатів, працюючих на альтернативних видах палива, для збереження їх тривалої експлуатації та підтримання основних потужностних показників в межах встановлених ГОСТами.

Список літератури

1. Савельєв Г.С. Технологии и технические средства адаптации автотракторной техники к работе на альтернативных видах топлива: автореф. дис.... д-р техн. наук. / Г.С. Савельев. – М., 2011. – 42 с.
2. Сандомирський М.Г. Результати випробування дизеля 4ЧН 12-14 на дизельному паливі і паливах рослин-

ницького виду / М.Г. Сандомирський // Тракторна енергетика в рослинництві. – Х.: ХНТУСГ, 2009. – С. 121-125.

3. Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення з використанням біологічного палива / В.А. Войтов, М.С. Даценко, М.Д. Карнаух, С.П. Сорокін // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 1. – С. 13-18.

4. Шуляк М.Л. Вплив зміни прохідного перерізу соплових отворів розпилювача форсунок на потужності показники двигуна при роботі на різних видах палива / М.Л. Шуляк // Механізація сільськогосподарського виробництва. – Х.: ХНТУСГ, 2011. – С. 126-134.

5. Шуляк М.Л. Вплив зміни перерізу соплових отворів розпилювача форсунок на гакову потужність МТА / М.Л. Шуляк // Vědecký pokrok na přelomu tisíciletí – 2011. Praha, Education and Science, 2011. – С. 26-30.

6. ГОСТ 20793-86 Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание. Введ. 01.01.1991. Государственный Совет СССР по стандартам. – М., 1986. – 16 с.

7. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. Введ. 01.01.1991. Государственный Совет СССР по стандартам. – М., 1988. – 14 с.

8. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 416 с.

9. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Аleshкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 169 с.

Надійшла до редколегії 15.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Г. Кухтов, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ СОПЛОВЫХ ОТВЕРСТИЙ РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МТА, РАБОТАЮЩЕГО НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

А.Т. Лебедев, М.Л. Шуляк, Е.И. Калинин

Рассмотрена методика планирования экспериментальных исследований при изучении влияния коксования форсунок дизельного двигателя, работающего на альтернативных видах топлива, на мощностно-энергетические показатели МТА. Получено уравнение регрессии, устанавливающее детерминированную связь между оборотами коленчатого вала двигателя, примесью альтернативного топлива к дизельному и изменением эффективного проходного сечения сопловых отверстий распылителя форсунки с крюковой мощностью машинно-тракторного агрегата. Получены поверхности отклика, с помощью которых проанализированы процессы, вызванные данной связью.

Ключевые слова: альтернативное топливо, форсунка, крюковая мощность, МТА.

PLANNING OF EXPERIMENT IN STUDYING THE INFLUENCE CHANGES EFFECTIVE THROAT NOZZLES SPRAY INJECTOR DIESEL ENGINEPOWER SPECIFICATIONS MTU, WHICH USING ALTERNATIVE FUELS

A.T. Lebedev, M.L. Shulyak, E.I. Kalinin

The article discusses the planning methodology of experimental research in the study of the influence of nozzle carbonization diesel engine operating on alternative fuels for energy performance-horsepower MTU. Obtained regression equation that establishes a deterministic relationship between the turns of the engine crankshaft, an admixture of an alternative fuel to diesel and change in the effective orifice nozzles spray nozzle with hook power of the machine and tractor unit. The response surface obtained by means of which processes are analyzed, due to this bond.

Keywords: alternative fuel, injector, hook power, MTU.