

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного
університету**



Випуск 21, том 2

**Наукове фахове видання
Технічні науки**



Мелітополь – 2021 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного університету

Випуск 21. Том 2

Наукове фахове видання

Технічні науки

Мелітополь – 2021

УДК 631.3**Т 13**

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету:
Наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 2.

ISSN 2078-0877

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 4 від 26.10.2021 р.

У збірнику наукових праць опубліковано матеріали за результатами досліджень у галузі механізації сільського господарства та галузевого машинобудування.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Редакційна колегія:

Головний редактор

Кюрчев В. М. - чл.-кор. НААН
України, д.т.н., проф. (Україна)

Заступник головного редактора

Надикто В. Т. - чл.-кор. НААН України,
д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Діордієв В. Т. - д.т.н., проф. (Україна)

Технічний секретар

Кондратюк Ю.В. (Україна)

Beloev Hristo - д.т.н., проф. (Болгарія)

Ivanovs Semjons - PhD (Latvia)

JoseItaloCortez – PhD (Mexico)

Нукешев Саяхат - д.т.н., проф. (Казахстан)

Прищепов М.А. - д.т.н., доц. (Білорусь)

Постолатій В. М. - д.х.т.н. (Молдова)

Шингисов А. У. - д.т.н., проф. (Казахстан)

Волошина А.А. – д.т.н. проф. (Україна)

Гнатушенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Болтянська Н. І. – к.т.н., доц. (Україна)

Єременко О. А. – д.с.-г.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Караєв О. Г. - д.т.н., с.н.с.(Україна)

Кузнєцов М. П. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Леженкін О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. - д.т.н., проф. (Україна)

Малкіна В. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Мілько Д. О. - д.т.н., в.о. проф. (Україна)

Назаренко І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Паламарчук І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. - д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. - д.т.н., доц. (Україна)

Пріс О. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. - д.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. - д.т.н. (м. Харків)

Тарасенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. - к.т.н., доц. (Україна)

Кюрчев С. В. – к.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Лендел Т. І. - к.т.н., (Україна)

Лясковська С. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Самойчук К. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Сидоренко О. С. - к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. - к.т.н., проф. (Україна)

Строкань О. В. - к.т.н., доц. (Україна)

Мацулевич О. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. - к.т.н. (Україна)

Яковлев В. Ф. - к.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск - д.т.н., проф. Панченко А.І.

Адреса редакції: ТДАТУ

просп. Б. Хмельницького 18,

м. Мелітополь Запорізька обл. 72312 Україна

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2021

УДК 662.756.3

DOI: 10.31388/2078-0877-2021-21-2-134-144

Р. В. Кушлик¹, к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-7560-9406

Р. Р. Кушлик¹, к.т.н., ст. викладач

ORCID: 0000-0003-4251-0239

Ю. О. Постол¹, к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-0749-3771

М. І. Стручаєв¹, к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-8891-4960

В. Б. Гулевський¹, к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0003-1434-9724

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного

e-mail: kushlykroman@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА В'ЯЗКІСТЬ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО ПРИ ОБРОБЦІ ЙОГО ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Анотація. В роботі представлено результати вимірювання в'язкості біопального 10% МЕРО+90% ДП після одночасної обробки його ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем при умовах: $t_{\text{зразка}}=200\text{C}$; $v_{\text{біодизеля}}=11,633 \text{ мм}^2/\text{с}$; $v_{\text{диз.пального}}=4,301 \text{ мм}^2/\text{с}$, в'язкість сумішевого біопального - (10% МЕРО + 90% ДП) – $4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$, а також при умовах обробки сумішевого біопального в певних діапазонах потужності ультразвуку, потужності НВЧ електромагнітного поля і часу.

На підставі експерименту було досліджено фактори, які впливають на зменшення в'язкості сумішевого біопального. Аналіз рівняння регресії показав, що найбільший вплив на зменшення в'язкості сумішевого біопального надає потужність ультразвуку, час обробки, взаємодія потужності ультразвукової обробки і часу, а також взаємодія потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітної обробки.

Ключеві слова: дизельне пальне, біопальне, метиловий ефір ріпакової олії, ультразвук, надвисокочастотне електромагнітне поле, рівняння регресії

Постановка проблеми. Економіка України істотно залежить від імпорту енергоресурсів, тому розробка нових сучасних технологій і обладнання для одержання відновлювальних джерел енергії є дуже актуальним завданням. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є застосування на транспорті сумішевих палив із метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) і дизельного пального (ДП) [1].

Ультразвукова і НВЧ надвисокочастотна обробка сумішевого біопального з метою зменшення його в'язкості, підвищення його пускових і низькотемпературних якостей є одним з ефективних способів впливу на пальне і забезпечує виконання покладених на автомобільну техніку завдань в суворих кліматичних умовах при низьких температурах. Одним із пріоритетів якісної обробки сумішевого біопального є

визначення основних факторів впливу на в'язкість в процесі обробки електрофізичними методами, їхніми рівнями варіювання, можливістю поєднання тих чи інших факторів, вплив даних факторів на вихідний параметр [2].

Аналіз останніх досліджень. На підставі результатів досліджень, проведених в НУБІП, НПП «Агродизель», ТДАТУ, Інституті технічної теплофізики НАНУ, а також робіт (О. Ю. Лінков, В. А. Дідур, О. І. Шматок, М. Р. Ткач, А. П. Уханов, Г. Є. Топілін, Р. В. Фокін, Д. А. Коршунов, С. А. Фадеев, В. А. Лиханов, В. А. Иванова, А. Ю. Шустер, К. С. Малахов, П. Г. Вальєхо, Г. С. Савельєва, В. Г. Семенова, В. Н. Фомін, П. В. Коваленко і інших дослідників) встановлено, що до чинників ефективності використання біопального в АПК відносяться відновлюваність, екологічність, економія дизельного пального, застосування пального без конструктивних змін двигуна, підвищення ресурсу двигуна. Все це дає значну економію при внутрігосподарчому способі виробництва [3].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Побудова планів ПФЕ (повного факторного експерименту) з метою дослідження їх впливу на в'язкість сумішевого біопального при обробці його електрофізичними методами.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Дослідження факторів, які впливають на в'язкість сумішевого біопального дозволило виділити три основних фактори: x_1 – потужність обробки ультразвуком – Р, Вт; x_2 – час обробки – Т, хв.; x_3 – потужність обробки НВЧ хвилями, Р, Вт [4].

Побудова планів ПФЕ (повного факторного експерименту) починається з вибору основного рівня і інтервалів варіювання. Основний рівень – це точка в факторному просторі околиці якої підлягають експериментальному дослідженню. Значення основного рівня факторів позначаються зазвичай як «0». Після цього задаємось інтервалами варіювання: $\Delta P_{УЗ}$; ΔT ; $\Delta P_{НВЧ}$ відповідно. Тоді верхній рівень «+» факторів буде дорівнювати для частоти ($P_{УЗ} + \Delta P_{УЗ}$); для часу обробки ($T + \Delta T$); для концентрації МЕРО в дизельному пальному ($P_{НВЧ} + \Delta P_{НВЧ}$). Нижній рівень даних факторів «-» відповідно визначається як: ($P_{УЗ} - \Delta P_{УЗ}$); ($T - \Delta T$); ($P_{НВЧ} - \Delta P_{НВЧ}$).

В табл.1 представлені рівні варіювання контрольного фактору.

Таблиця 1 – Рівні варіювання контрольного фактору

Фактор	Рівень варіювання			
	-1	0	+1	Інтервал варіювання
X_1 – потужність обробки УЗ, Вт	10	30	50	$\Delta P=20$
X_2 – час обробки, хв.	1	3	5	$\Delta T=2$
X_3 – потужність обробки НВЧ, Вт	100	200	300	$\Delta P=100$

В табл. 2 задаємося можливими поєднаннями рівнів факторів для нашого прикладу в кодових і натуральних змінних.

Кожна строчка табл. 2 визначає умови проведення дослідів. Так перший дослід проводимо при умові: $P_{УЗ} = 10$ Вт, $T=1$ хв., $P_{НВЧ}=100$ Вт і т.д.

Таблиця 2 - Можливі поєднаннями рівнів факторів

Порядк. номер	Потужність УЗ		Час обробки		Потужність НВЧ	
	$P_{УЗ}$, Вт	X_1	T , хв.	X_2	$P_{НВЧ}$, Вт	X_3
1	10	-	1	-	100	-
2	50	+	1	-	100	-
3	10	-	5	+	100	-
4	50	+	5	+	100	-
5	10	-	1	-	300	+
6	50	+	1	-	300	+
7	10	-	5	+	300	+
8	50	+	5	+	300	+

В табл. 3 представлено результати дослідів для визначення в'язкості в сумішевому біопальному 10% МЕРО+90% ДП при умовах: $t_{зразка}=20^0\text{C}$; $v_{біопального}=11,633$ мм²/с; $v_{диз.пального}=4,301$ мм²/с.(10% МЕРО + 90% ДП – 4,664 мм²/с) [5].

Таблиця 3 – Результати дослідів для визначення в'язкості в сумішевому біопальному

Пор. номер	Діапазон $P_{УЗ}$, T , $P_{НВЧ}$	v , мм ² /с	$v_{сер.}$, мм ² /с
1	$P_{УЗ} = 10$ Вт $T = 1$ хв. $P_{НВЧ} = 100$ Вт	4,720	4,650
		4,280	
2	$P_{УЗ} = 50$ Вт $T = 1$ хв. $P_{НВЧ} = 100$ Вт	4,300	4,55
		4,810	
3	$P_{УЗ} = 10$ Вт $T = 5$ хв. $P_{НВЧ} = 100$ Вт	4,770	4,645
		4,520	
4	$P_{УЗ} = 50$ Вт $T = 5$ хв. $P_{НВЧ} = 100$ Вт	3,788	3,919
		4,050	
5	$P_{УЗ} = 10$ Вт $T = 1$ хв. $P_{НВЧ} = 300$ Вт	4,641	4,841
		5,041	
6	$P_{УЗ} = 50$ Вт $T = 1$ хв. $P_{НВЧ} = 300$ Вт	4,300	4,52
		4,740	

Продовження таблиці 3

7	$P_{у3} = 10Вт$ $T = 5 \text{ хв.}$ $P_{НВЧ} = 300Вт$	5,139	4,86
		4,590	
8	$P_{у3} = 50Вт$ $T = 5 \text{ хв.}$ $P_{НВЧ} = 300Вт$	3,721	3,791
		3,861	
9	$P_{у3} = 30Вт$ $T = 3 \text{ хв.}$ $P_{НВЧ} = 200Вт$	3,920	3,88
		3,840	

Математична модель (рівняння регресії) розрахована на основі результатів отриманих при реалізації плану ПФЕ для $K=3$ має зазвичай наступний вигляд:

$$y = v_0 + v_1x_1 + v_2x_2 + v_3x_3 + v_{12}x_1x_2 + v_{13}x_1x_3 + v_{23}x_2x_3 \quad (1)$$

Таким чином, на основі результатів плану ПФЕ можна розрахувати не тільки коефіцієнти при лінійних членах v_1 v_2 v_3 але і коефіцієнти, які характеризують взаємодію першого порядку (v_{12} v_{13} v_{23}).

Перед розрахунком коефіцієнтів складаємо розрахункову матрицю, яка приведена в табл. 4.

Таблиця 4 – Розрахункова матриця

Поряд.номер	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	-	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	+	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+

Проведемо розрахунок планів ПФЕ. При реалізації дослідів були отримані результати, які характеризують вихідний параметр «у – в'язкість», які зведені в табл.5.

Значення y_1 y_2 представляють собою експериментальні дані паралельних дослідів, \bar{y} – арифметичним середнім паралельних дослідів, S_n^2 – відрядкові дисперсії.

$$S_n^2 = (4,280 - 4,650)^2 + (4,720 - 4,650)^2 = 0,142$$

$$S_n^2 = (4,810 - 4,55)^2 + (4,300 - 4,55)^2 = 0,130$$

$$S_n^2 = (4,520 - 4,645)^2 + (4,770 - 4,645)^2 = 0,0312$$

$$S_n^2 = (4,050 - 3,919)^2 + (3,788 - 3,919)^2 = 0,0343$$

$$S^2_{n5} = (5,041 - 4,841)^2 + (4,641 - 4,841)^2 = 0,08$$

$$S^2_{n6} = (4,740 - 4,52)^2 + (4,300 - 4,52)^2 = 0,115$$

$$S^2_{n7} = (4,590 - 4,86)^2 + (5,139 - 4,86)^2 = 0,151$$

$$S^2_{n8} = (3,861 - 3,791)^2 + (3,721 - 3,791)^2 = 0,00405$$

$$S^2_{n9} = (3,840 - 3,88)^2 + (3,920 - 3,88)^2 = 0,0032$$

Таблиця 5 – Результати дослідів, які характеризують вихідний параметр

Поряд.номер	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	y ₂	\bar{y}	S ² _n
1	-	-	-	4,720	4,280	4,650	0,142
2	+	-	-	4,300	4,810	4,55	0,130
3	-	+	-	4,770	4,520	4,645	0,0312
4	+	+	-	3,788	4,050	3,919	0,0343
5	-	-	+	4,641	5,041	4,841	0,08
6	+	-	+	4,300	4,740	4,52	0,115
7	-	+	+	5,139	4,590	4,86	0,151
8	+	+	+	3,721	3,861	3,791	0,00405
9	0	0	0	3,920	3,840	3,88	0,0032
$S_E = 0,691$							

Після даних розрахунків було визначено суми квадратів помилок S_E .

$$S_E = \sum_{n=1}^N S^2_n \quad (2)$$

$$S_E = 0,142 + 0,130 + 0,0312 + 0,0343 + 0,08 + 0,115 + 0,151 + 0,00405 + 0,0032 = 0,691$$

Дисперсія відтворюваності (дисперсія помилок спостережень) розраховувалась по формулі:

$$S^2 = \frac{S_E}{f^2 \gamma} \quad (3)$$

де f^2 – число степенів свободи, $f^2 = 8$

γ – число паралельних дослідів, $\gamma = 2$

$$S^2 = \frac{0,691}{8 \cdot 2} = 0,0432$$

Маючи відрядкові дисперсії, їх суму S_E була виконана перевірка відтворюваності з використанням критерію Кохрена

$$G = \frac{S^2 \max}{S_E} \leq G_\alpha(\gamma - 1, N) \quad (4)$$

де $G(\gamma-1, N)$ – табличне значення критерію Кохрена при рівні значущості « α », приймається рівним 0,05. В нашому випадку $G_{0,05}=0,68$ [6].

$$G = \frac{0,151^2}{0,691} = 0,0330 < 0,68$$

Так як значення критерію Кохрена по дослідним даним не перевершують його критичного значення взятого із таблиць [6], ми робимо висновок, що досліди достатньо добре відтворені.

Виконуємо розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії. Для полегшення процедури розрахунку коефіцієнтів скористаємося розрахунковою матрицею ПФЕ (для $K=3$, табл. 3). Заповнимо стовпчики таблиці значенням похідних x_{in} , \bar{y}_n і $x_{in} x_{jn}$, \bar{y}_n , де індекс n означає номер досліду.

Строки $\sum_{n=1}^N$ і v_{ij} заповнимо в процесі розрахунку.

Таблиця 6 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

Номер досліду	$x_1 \bar{y}$	$x_2 \bar{y}$	$x_3 \bar{y}$	$x_1 x_2 \bar{y}$	$x_1 x_3 \bar{y}$	$x_2 x_3 \bar{y}$	\bar{y}
1	- 4,650	- 4,650	- 4,650	+ 4,650	+ 4,650	+4,560	4,650
2	+ 4,55	- 4,55	- 4,55	- 4,55	- 4,55	+ 4,55	4,55
3	- 4,645	+ 4,645	- 4,645	- 4,645	+4,645	- 4,645	4,645
4	+3,919	+3,919	- 3,919	+3,919	- 3,919	- 3,919	3,919
5	- 4,841	- 4,841	+ 4,841	-4,841	- 4,841	- 4,841	4,841
6	+ 4,52	- 4,52	+ 4,52	- 4,52	+ 4,52	- 4,52	4,52
7	- 4,86	+ 4,86	+ 4,86	+ 4,86	- 4,86	+ 4,86	4,86
8	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	3,791
9	0	0	0	0	0	0	3,88
$\sum_{n=1}^N$	-2,216	-1,347	0,248	-1,336	-0,564	-0,164	39,66
v_{ij}	-0,277	-0,168	0,031	-0,167	-0,0705	-0,0205	B_0 =4,407

Кожна строчка даної таблиці заповнена одним і тим же числом, однак знаки при цих строках різні, вони міняються у відповідності з правилами чередування знаків розрахункових матриць. Після складання розрахункової матриці для нашого прикладу сумуємо числа в стовпчиках

з врахуванням знаків і заповнюємо строчки для суми $\sum_{n=1}^N$.

Для розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії в плані ПФЕ достатньо розділити суми відповідних стовпчиків на число дослідів N . В нашому випадку $B_0=9$, а $N=8$. Тоді значення коефіцієнтів b_0 визначаємо як частку від ділення суми чисел стовпчика « \bar{y} » на 9, тобто:

$$b_0 = \frac{\sum_{n=1}^N \bar{y}_n}{9} \quad (5)$$

$$b_0 = \frac{\sum_{n=1}^8 39,66}{9} = 4,407$$

Аналогічно значення коефіцієнтів b_1 ; b_2 ; b_3 ; b_{12} ; b_{23} визначаємо діленням сум стовпчиків $x_1 \bar{y}$, $x_2 \bar{y}$ і т.д. на 8

$$b_1 = \frac{\sum_{n=1}^N X_{1n} \bar{y}_n}{8} \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{-2,216}{8} = -0,277$$

$$b_{1,2} = \frac{-1,336}{8} = -0,167$$

$$b_2 = \frac{-1,347}{8} = -0,168$$

$$b_{1,3} = \frac{-0,564}{8} = -0,0705$$

$$b_3 = \frac{-0,248}{8} = 0,031$$

$$b_{2,3} = \frac{0,164}{8} = -0,0205$$

Таким чином всі коефіцієнти в рівнянні регресії, окрім коефіцієнтів b_{123} , які характеризують взаємодію другого порядку ми розрахували. Описана процедура розрахунків відома, як метод найменших квадратів.

Рівняння регресії з розрахунковими коефіцієнтами для нашого прикладу буде мати наступний вигляд:

$$y = 4,407 - 0,277X_1 - 0,168X_2 + 0,031X_3 - 0,167X_1X_2 - 0,0705X_1X_3 - 0,0205X_2X_3$$

По абсолютній величині коефіцієнтів судять про дальшу силу впливу того чи іншого фактору на протікання процесу. Процедура визначення значимості коефіцієнтів формалізована і є частиною регресивного аналізу.

Розрахунок значимості коефіцієнтів починають з визначення їх дисперсій S_i^2 , $S_{i\gamma}^2$

$$S_i^2 = S_{i\gamma}^2 = \frac{S^2}{N}, \quad (7)$$

де S^2 – уже відома нам дисперсія відтворюваності вихідного параметра. Для нашого прикладу $S^2 = 0,00427$

$$S_i^2 = S_{i\gamma}^2 = \frac{0,0432^2}{8} = 0,000233$$

В планах ПФЕ дисперсії коефіцієнтів при лінійних членах і коефіцієнти, які характеризують взаємодію різних порядків рівні, що значно спрощує процедуру оцінки їх значимості.

Коефіцієнти b_i , $b_{i\gamma}$ рахуються значущими, якщо:

$$|b_i \cdot b_{i\gamma}| \geq t_{кр} \sqrt{S_i^2}, \quad (8)$$

де $t_{кр}$ – критичне значення розподілення критерія Стюдента для заданого рівня значності α і f_2 ступенем свободи.

Критерій $t_{кр}$ знаходиться за допомогою табл. 2 (додаток 1[6]). В аналізованому прикладі $f_2=8$ для рівня значення $\alpha=0,05$ $t_{кр} = 2,31$ тоді

$$t_{кр} \sqrt{S_i^2} = 2,31 \sqrt{0,000233} = 0,0353$$

Таким чином, всі коефіцієнти в рівнянні регресії, які перевершують по абсолютній величині значення 0,0353 є значимими і залишаються для перевірки адекватності отриманої моделі.

З врахуванням значимості коефіцієнтів рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 4,407 - 0,277 X_1 - 0,168 X_2 - 0,167 X_1 X_2 - 0,0705 X_1 X_3$$

Дане рівняння перевіряємо на адекватність за допомогою критерія Фішера по формулі:

$$F = \frac{S_R / f_1}{S_E / f_2} = \frac{S_{ад}^2}{S_{відтвор.}^2} \quad (9)$$

В даному рівнянні невідомо S_R (сума квадратів) і число ступенів свободи при ній, які необхідно розрахувати.

Для проведення необхідних розрахунків використаємо розрахункову матрицю при умові, що стовпчики $X_1 X_2$; $X_2 X_3$; $X_1 X_3$ будуть виключені із аналізу.

Стовпчики X_1 ; X_2 ; X_3 в розрахунковій матриці заповнюємо похідною кодіваних значень факторів і їх взаємодію на відповідне значення коефіцієнтів при них. Тоді абсолютні значення чисел в кожному із стовпчиків будуть відрізнятися лише знаками, при чому для позитивних коефіцієнтів знаки чисел в стовпчиках будуть передуватись по описаному вище правилу. Для негативних коефіцієнтів всі знаки поміняються на протилежні, так як знак мінус в матриці на мінус при коефіцієнті дасть

плюс, а плюс на мінус дасть мінус (табл. 6). Просумувавши відрядкові значення чисел в табл. 6 ми отримуємо розрахункові значення вихідного параметра \hat{y}_n .

Таблиця 6 – Розрахункова матриця для значимих коефіцієнтів

№	$B_0 X_0$	$B_1 X_1$	$B_2 X_2$	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	\hat{y}_n	\bar{y}_n	$(\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2$
1	4,407	+0,277	+0,168	-0,167	-0,0705	4,615	4,650	0,00123
2	4,407	-0,277	+0,168	+0,167	+0,0705	4,535	4,550	0,00022
3	4,407	+0,277	-0,168	+0,167	-0,0705	4,612	4,645	0,00109
4	4,407	-0,277	-0,168	-0,167	+0,0705	3,865	3,919	0,00292
5	4,407	+0,277	+0,168	+0,167	+0,0705	5,089	4,841	0,0615
6	4,407	-0,277	+0,168	+0,167	-0,0705	4,394	4,52	0,0159
7	4,407	+0,277	-0,168	-0,167	+0,0705	4,419	4,86	0,194
8	4,407	-0,277	-0,168	-0,167	-0,0705	3,725	3,791	0,00436
$\Sigma S_R = 0,281$								

Для розрахунку відрядково визначаємо різницю $(\hat{y}_n - \bar{y}_n)$ і беремо їх у квадраті. Остаточна сума квадратів S_R розраховується як сума квадратів різниці \hat{y}_n і \bar{y}_n , тобто:

$$S_R = \sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2 \quad (10)$$

тоді $S_R = \gamma S_R$. В нашому випадку:

$$S_R = 0,00123 + 0,00022 + 0,00109 + 0,00292 + 0,0615 + 0,0159 + 0,194 + 0,00436 = 0,281$$

Розрахуємо число степенів свободи f_1 необхідне для розрахунку дисперсії адекватності. Дана величина в планах ПФЕ завжди визначається наступним чином:

$$f_1 = N - g, \quad (11)$$

де N – число дослідів;

g – число значимих коефіцієнтів з врахуванням вільного члена B_0

$$f = 8 - 5 = 3$$

Визначаємо значення критерія Фішера

$$F = \frac{0,281/3}{0,691/8} = \frac{0,0937}{0,0864} = 1,08$$

Значення $F_{кр}$ для заданого рівня значимості α (приймаємо $\alpha=0,05$) і $f_1=5$, а $f_2 = 8$, знаходимо із додатку 1 табл. 3 [6]. $F_{кр} = 5,32$

Отже $F = 1,08 < F_{кр} = 5,32$

Так як розрахункове значення критерія Фішера не перевершує критичного висловлене раніше припущення про надійність (адекватність) отриманого рівняння не відкидається.

Висновки. Аналіз рівняння регресії показав, що найбільший вплив на зменшення в'язкості сумішевого біопального надає потужність ультразвуку, час обробки, взаємодія потужності ультразвукової обробки і часу, а також взаємодія потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітної обробки. Перевірка моделі на адекватність по критерію Фішера для заданого рівня значимості ($\alpha=0,05$) дала позитивний результат.

Список використаних джерел

1. Передерій Н. О. Ріпак – стратегічна культура для біоенергетики України. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2008. № 131. С. 300-304.

2. Назаренко І. П., Кушлик Р. Р. Теоретичні передумови приготування суміші компонентів біопального в ультразвуковому полі. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2017. Вип. 187: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 113–116.

3. Назаренко І. П., Кушлик Р. Р., Кушлик Р. В. Покращення якості сумішевого біодизеля шляхом обробки його акустичним полем. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2016. Вип. 6, т. 1. С. 164-171.

4. Кушлик Р. Р. Обґрунтування параметрів електротехнологічно го комплексу для покращення функціональних властивостей біопального: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.09.03. Мелітополь, 2018. 21 с.

5. Kushlyk R. R., Nazarenko I. P., Kushlyk R. V., Nadykto V. T. Research info effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel fuel on viscovity. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 2, № 1 (86). P. 34-41.

6. Богданович Н. И. Расчеты в планировании эксперимента: учеб. пособие. Ленинград, 1978. 80 с.

Р. В. Кушлык¹, Р. Р. Кушлык¹, Ю. О. Постол¹, Н. И. Стручаев¹, В. Б. Гулевский¹

**¹Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА В'ЯЗКІСТЬ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЕГО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Аннотация

В работе представлены результаты измерения вязкости биотоплива 10%МЕРО+90%ДТ после одновременной обработки его ультразвуком и СВЧ электромагнитным полем при условиях: $t_{\text{образца}} = 20^{\circ}\text{C}$; $v_{\text{биодизеля}} = 11,633 \text{ мм}^2/\text{с}$;

$v_{\text{диз.топлива}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с.}$, вязкость смесового биотоплива - (10% МЕРО+ 90% ДТ) - $4,664 \text{ мм}^2/\text{с.}$, а также при условиях обработки смесового биотоплива в определенных диапазонах мощности ультразвука, мощности СВЧ электромагнитного поля и времени.

На основании эксперимента были исследованы факторы, влияющие на уменьшение вязкости смесового биотоплива. Анализ уравнения регрессии показал, что наибольшее влияние на уменьшение вязкости смесового биотоплива оказывает мощность ультразвука, время обработки, взаимодействие мощности ультразвуковой обработки и времени, а также взаимодействие мощности ультразвука и СВЧ электромагнитной обработки.

Ключевые слова: дизельное топливо, биотопливо, метиловый эфир рапсового масла, ультразвук, сверхвысокочастотное электромагнитное поле, уравнение регрессии.

R. Kushlyk¹, R. Kushlyk¹, Y. Postol¹, M. Struchaev¹, V. Hulevskiy¹
¹Dmytro Motorny Tavriya State Agrotechnological University

RESEARCH OF FACTORS OF INFLUENCE ON VISCOSITY OF MIXED BIOLOGICAL FUEL DURING ITS PROCESSING BY ELECTROPHYSICAL METHODS

Summary

The paper presents the results of measuring the viscosity of biofuel 10% МЕРО+ 90%DF after its simultaneous treatment with ultrasound and microwave electromagnetic field under the following conditions: $t_{\text{sample}} = 200^{\circ}\text{C}$; $v_{\text{biodiesel}} = 11.633 \text{ мм}^2/\text{s}$; $v_{\text{diz.fuel}} = 4.301 \text{ мм}^2/\text{s}$., viscosity of mixed biofuel - (10% МЕРО + 90% DF) - $4.664 \text{ мм}^2/\text{s}$.

The study of factors affecting the viscosity of blended biofuels made it possible to single out three main factors: X1 - sonication power - P, W; X2 - processing time - T, min; X3 - power of processing by microwave waves, P, W.

In this work, the calculation of the plans of the PFE was carried out. During the implementation of the experiments, the results were obtained that characterize the initial parameter "y-viscosity", certain sums of squares of errors, variance of reproducibility (variance of observation errors).

Having the variance values and their sums, the reproducibility was checked using the Cochran test (the table value of the Cochran test at the significance level " α " was taken equal to 0.05. In our case, $G_{0.05}$ was 0.68. Since the value of the Cochran test according to research data did not exceed its critical value taken from the tables, it was concluded that the experimental experiments were reproduced well enough.

To calculate the coefficients of the regression equation, the calculated PFE matrix was used (for $K=3$). All the coefficients in the regression equation were determined by the least squares method, and also using the Student criterion for a given significance level α i f_2 - degrees of freedom, significant coefficients in the regression equation were determined.

This equation was tested for adequacy using the Fisher test. Checking the model for adequacy according to Fisher's criterion for a given level of significance ($\alpha = 0.05$) gave a positive result.

Key words: diesel fuel, biofuel, rapeseed oil methyl ester, ultrasound, ultrahigh-frequency electromagnetic field, regression equation.

ЗМІСТ

<i>Панченко А. І., Волошина А. А., Волков С. В., Панченко І. А., Волошин А. А.</i> Вплив конструктивних особливостей розподільних систем на зміну робочих параметрів планетарних гідромоторів	3
<i>Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Ленеть Е. І.</i> Аналітичне обґрунтування методики експериментальних досліджень взаємодії з ґрунтом ґрунтообробних знарядь	21
<i>Панченко А. І., Волошина А. А., Мітков В. Б., Панченко І. А., Нестеренко К. В.</i> Динаміка зміни вихідних характеристик мехатронних систем із планетарними гідромоторами	28
<i>Журавель Д. П., Чебанов А. Б.</i> Обґрунтування аеродинамічних властивостей вороху рицини	42
<i>Бойко В. Б.</i> Дозування насіння в гідросівалці	51
<i>Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А., Нестеренко К. В.</i> Вплив конструктивних особливостей системи роторів планетарного гідромотору на зміну його вихідних характеристик	61
<i>Прокопенко М. В., Ткачук М. А., Гречка І. П.</i> Загальний аналіз конструкцій нагнітачів високо обертових двигунів на прикладі нагнітачів повітря	78
<i>Болтянський О. В., Волков С. В., Стефановський О. Б., Орел О. М.</i> Аналіз схем систем живлення та автоматичного регулювання дизелів, які працюють на пальних газах	95
<i>Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Кушлик Р. В., Кушлик Р. Р., Стручаєв М. І.</i> До розробки систем очищення мастильно-охолоджуючих рідин з використанням магнітного поля	118
<i>Сушко О. В., Колодій О. С.</i> Ефект покриття поверхні змащувально-охолоджуючою рідиною та його вплив на тертя передній грані різця	126
<i>Кушлик Р. В., Кушлик Р. Р., Постол Ю. О., Стручаєв М. І., Гулевський В. Б.</i> Дослідження факторів впливу на в'язкість сумішевого біопального при обробці його електрофізичними методами	134
<i>Орел О. М., Болтянський О. В., Болтянська Н. І, Носань С. В.</i> Технічні засоби для лікування костного травматизму сільськогосподарських тварин методами НВЧ електромагнітних випромінювань в лікувальних цілях	145

<i>Валько М. І., Стоянова О. В., Бобирь С. В., Зубкова К. В.</i> Удосконалення способу заморожування ягід чорної смородини	152
<i>Пеньов О. В., Черкун В. В., Прахін О. О.</i> Абразивний інструмент на гнучкій основі для сільськогосподарського машинобудування	163
<i>Стефановський О. Б.</i> Особенности регрессионных размеров шестерён масляных насосов дизелей от диаметра цилиндров	168
<i>Мілаєва І. І., Мілаєв О. І.</i> Особливості розвитку сучасних тракторів	192

Наукове фахове видання

Праці
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного

Випуск 21. Том 2

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., проф. Панченко А.І.

Підписано до друку Протокол 4 від 26.10.2021 р. друк Rizo.
Друкарня ТДАТУ.
10,2 умов. друк. арк. тираж 100 прим.

73312 ПП Верескун.
Запорізька обл., м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 10
тел. (6192) 6-88-38