

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОВАРІВ

УДК 665.6 DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(34\)07](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(34)07)

Ніна МЕРЕЖКО

E-mail: n.merezhko@knute.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3077-9636

д. т. н., професор, завідувач кафедри
товарознавства та митної справи
Київського національного
торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

Валентина ТКАЧУК

E-mail: v.tkachuk@ntu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5793-5227

к. т. н., доцент кафедри товарознавства
та експертизи в митній справі
Луцького національного технічного університету
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Волинська обл.,
43018, Україна

Володимир КОМАХА

E-mail: v.komakha@knute.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6498-9047

к. т. н., доцент кафедри
товарознавства та митної справи
Київського національного
торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВИСОКООКТАНОВИХ БЕНЗИНІВ ІЗ БІОДОБАВКАМИ

Досліджено вплив складу композиції (бензин каталітичного риформінгу, ката- літичного крекінгу гідроочищений, рафінат бензольного виробництва, сольвент нафтовий, бензин прямогінний, біоізобутиловий спирт, метилтретбутиловий ефір) на показники експлуатаційних властивостей бензину. Розроблено математичні моделі типу "склад – властивості", що дали змогу оптимізувати співвідношення компонентів складу високооктанового бензину та біодобавок.

Ключові слова: бензин, біодобавки, математичне моделювання, октанове число, біоізобутиловий спирт, метилтретбутиловий ефір, оптимальний склад.

Мережко Н., Ткачук В., Комаха В. Оптимизация состава высокоокта- новых бензинов с биодобавками. Исследовано влияние состава композиции (бензин каталитического риформинга, каталитического крекинга гидроочищенный, рафи- нат бензольного производства, сольвент нефтяной, бензин прямогонный, биоизо- бутуловый спирт, метилтретбутиловый эфир) на показатели эксплуатационных свойств бензина. Разработаны математические модели типа "состав – свойства", которые позволили оптимизировать соотношение компонентов состава высоко- октанового бензина и биодобавок.

Ключевые слова: бензин, биодобавки, математическое моделирование, окта- новое число, биоизобутиловый спирт, метилтретбутиловый эфир, оптимальный состав.

© Ніна Мережко, Валентина Ткачук, Володимир Комаха, 2020

Постановка проблеми. Екологічність палив, що використовуються у двигунах внутрішнього згорання автомобілів, є глобальною проблемою людства, розв'язанню якої приділяють велику увагу як провідні вчені й практики нафтопереробної промисловості, так і міжнародні організації з охорони довкілля. На сьогодні частка нафти, яка задовольняє потреби транспортної галузі, становить 97–99 %, а частка транспорту як кінцевого споживача енергоносіїв безупинно збільшується. Тому виробництво палив нафтового походження, які б відповідали підвищеним вимогам до показників екологічних властивостей, зростатиме [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам функціонування нафтохімічної промисловості України присвячено наукові дослідження вчених, як-от: П. Топільницький, Б. Бойченко, В. Романчук, Б. Бугай, О. Гайдай, С. Зубенко, О. Гринишин, В. Бростов та ін. [2–4]. Але у працях щодо питання виготовлення високооктанових бензинів із заданими властивостями увагу приділено лише окремим показникам якості. Недостатньо вивченим залишається комплексний вплив складників композицій для одержання високооктанового бензину на якість палива.

Вітчизняні науковці досліджують сумішеві палива з різним співвідношенням компонентів з метою покращення їхніх експлуатаційних властивостей. Розроблено композиції паливної суміші для двигунів внутрішнього згорання на основі біоетанолу [5]. Водночас збільшується октанове число тільки завдяки біоетанолу, який є в такій суміші. Його вміст становить до 79.9 %, а вуглеводневі компоненти використовуються лише в кількості 20 %.

Інша відома композиція сумішевого бензину [6] містить у своєму складі бензин каталітичного риформінгу, бензин каталітичного крекінгу, прямогінний бензин, бутани, оксигенати, алкілат. Її недоліком є необхідність використання дорогих алкілатів, ізомеризатів, бутанів, які, до того ж, є гостродефіцитними. Отже, оптимізація складу (за наукового його обґрунтування) сумішевого високооктанового бензину з біодобавками є доцільною й актуальною.

Стаття ґрунтується на результатах попередніх досліджень [7–9], завдяки яким встановлено, що співвідношення компонентів композиції високооктанового бензину, яка б відповідала вимогам ДСТУ 7687:2015 до бензину Євро-5 за величиною октанового числа, вмістом сірки, ароматичних вуглеводнів та бензолу, показниками фракційного складу, концентрації фактичних смол, досягається оптимальним співвідношенням продуктів нафтопереробки та біодобавок.

Мета статті – оптимізація складу композиції для отримання високооктанового бензину для двигунів з іскровим запалюванням із використанням біодобавок.

Матеріали та методи. *Об'єкт* дослідження – бензини з різним вмістом вуглеводневих додатків та біодобавок. *Предмет* дослідження – властивості високооктанового бензину з урахуванням зміни співвідношення компонентів складу композиції.

Для мінімізації багатоцільових функцій з урахуванням певного набору обмежень призначена багатокритеріальна оптимізація з поста-

новкою завдання досягнення мети. Оптимум параметрів, що отримується за виконання таких умов, як правило, називають умовним або відносним, а область параметрів процесу, в межах якої одержують вихідні змінні, що задовольняють усім зазначеним вимогам, – раціональною або компромісною областю.

"Математичні моделі обраного виду отримували з використанням центрального композиційного ротатабельного плану (ЦКРП) експерименту, із заданими значеннями вихідних змінних в досліджуваному діапазоні значень. Моделювання процесу "склад – властивість" проведено з використанням моделі другого порядку, що має такий вигляд" [10]:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_i x_i^2 \quad (1)$$

Для одержання масиву даних і подальшої оптимізації складу високооктанового бензину реалізовано повний факторний експеримент типу 2^3 , побудований до ротатабельного плану Бокса – Хантера другого порядку з 6 експериментальними точками в центрі плану і зірковим плечем 1.6818, та проведено статистичний аналіз математичних моделей [10] (табл. 1).

Таблиця 1

План експерименту

Порядковий номер експерименту	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	1.6818	0	0
10	-1.6818	0	0
11	0	1.6818	0
12	0	-1.6818	0
13	0	0	1.6818
14	0	0	-1.6818
15	0	0	0

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії виконано за критерієм Стюдента. Враховуючи, що експериментальні дані відповідали гіпотезі про нормальний закон розподілу, розрахунки проведено при довірчій ймовірності, що дорівнює 0.95.

Побудову матриці планування, розрахунок коефіцієнтів регресійних моделей, перевірку їх значущості й адекватності, а також математичну обробку експериментальних даних здійснено за програмним забезпеченням *STAT-SENS* та *STATISTICA 10*.

Результати дослідження. Попередні дослідження впливу біодобавок [5; 6] дали змогу встановити область постановки експерименту.

Вихідними змінними обрано сумішеві фактори, що характеризують співвідношення основних компонентів палива, а саме:

x_1 – вміст бензину, мас.%;

x_2 – вміст біоізобутилового спирту, мас.%;

x_3 – вміст метилтретбутилового ефіру, мас.%.

Для отримання математичних залежностей виду $y = f(x_i)$ при $i = 3$ встановлено нульовий рівень (X_0) вибраних факторів та їх інтервал варіювання (+/- Δ). При цьому центр плану розташований в точці з координатами x_1, x_2, x_3 , відповідно 72, 4, 8, та інтервалами варіювання 6, 2, 2 (табл. 2).

Таблиця 2

Інтервали варіювання вихідних змінних плану експерименту

Фактор	x_1	x_2	x_3
X_0	72.00	4.00	8.00
+/- Δ	6.00	2.00	2.00
-1.6818	61.91	0.64	4.64
-1	66.00	2.00	6.00
+1	78.00	6.00	10.00
+1.6818	82.09	7.36	11.36

Порівняння складів високооктанових бензинів здійснено за показниками властивостей: y_1 – октанове число за дослідницьким методом; y_2 – вміст бензолу, % об.; y_3 – вміст сірки, мг/кг; y_4 – вміст ароматичних вуглеводнів, % об.

Згідно з центральним композиційним ротатабельним планом експерименту розроблено 15 модельних складів, що ілюструються прикладами за співвідношенням компонентів у табл. 3.

Для кількісного обмеження числа заданих факторів моделювання складів дослідних композицій проведено враховуючи, що фактор x_1 (вміст бензину) відповідає сумарному вмісту бензинів каталітичного риформінгу, каталітичного крекінгу та прямогінного – у співвідношенні 55:35:10 відповідно, а сумарний вміст компонентів доводили до 100 %, використовуючи рафінат бензольного виробництва і сольвент нафтовий у співвідношенні 55:45.

Таблиця 3

Склади дослідних композицій бензину із використанням біодобавок

Номер модельного складу	Вміст компонентів, мас. %						
	Бензин каталітичного риформінгу	Бензин каталітичного крекінгу	Бензин прямогінний	Біоізобутиловий спирт	Метилтретбутиловий ефір	Рафінат бензольного виробництва	Сольвент нафтовий
1	36.30	23.10	6.60	2.00	6.00	14.30	11.70
2	42.90	27.30	7.80	2.00	6.00	7.70	6.30
3	36.30	23.10	6.60	6.00	6.00	12.10	9.90
4	42.90	27.30	7.80	6.00	6.00	5.50	4.50
5	36.30	23.10	6.60	2.00	10.00	12.10	9.90
6	42.90	27.30	7.80	2.00	10.00	5.50	4.50
7	36.30	23.10	6.60	6.00	10.00	9.90	8.10
8	42.90	27.30	7.80	6.00	10.00	3.30	2.70
9	45.15	28.75	8.20	4.00	8.00	3.25	2.65
10	34.05	21.65	6.20	4.00	8.00	14.35	11.75
11	39.60	25.20	7.20	7.35	8.00	6.95	5.70
12	39.60	25.20	7.20	0.65	8.00	10.65	8.70
13	39.60	25.20	7.20	4.00	11.36	6.94	5.70
14	39.60	25.20	7.20	4.00	4.65	10.65	8.70
15	39.60	25.20	7.20	4.00	8.00	8.80	7.20

Результати поставленого експерименту за планом (див. табл. 1) з урахуванням центра плану та інтервалів варіювання (див. табл. 2) наведено в табл. 4.

Після здійснення розрахунків за допомогою програмного комплексу *STAT-SENS* отримано математичні моделі, що описують вплив компонентів суміші на властивості бензину:

$$\hat{y}_1 = 95.185 + 1.5956x_1 + 0.88267x_2 + 1.9777x_3 + 0.5375x_1x_2 + 0.5375x_1x_3 + 0.5375x_2x_3 - 0.050032x_1^2 + 0.551x_2^2 + 0.020678x_3^2;$$

$$\hat{y}_2 = 0.45881 + 0.03528x_1 - 0.0014645x_2 - 0.0014645x_3 - 6.9389 \cdot 10^{-18}x_1x_2 + 0.0025x_2x_3 - 0.00015483x_2^2;$$

$$\hat{y}_3 = 5.2423 + 1.9797x_1 - 2.3467 \cdot 10^{-17}x_2 - 0.098517x_3 - 0.12931x_1^2 - 0.058597x_2^2 + 0.082823x_3^2;$$

$$\hat{y}_4 = 33.6 + 2.009x_1 - 1.7504 \cdot 10^{-16}x_2 - 1.2156 \cdot 10^{-15}x_3 + 1.248 \cdot 10^{-14}x_1^2 + 2.669 \cdot 10^{-14}x_2^2 - 3.1294 \cdot 10^{-15}x_3^2,$$

де \hat{y} – прогнозовані значення вихідної змінної за моделями.

Результати комп'ютерних розрахунків значущості коефіцієнтів отриманих регресійних рівнянь наведено в *табл. 5*.

Таблиця 5

Коефіцієнти і розрахункові значення критерію

b_{ii}	Модель y_1		Модель y_2		Модель y_3		Модель y_4	
	B_{ij}	t_p	B_{ij}	t_p	B_{ij}	t_p	B_{ij}	t_p
b_0	95.185	53.522	0.45881	0.68959	5.2423	2.9478	33.6	18.893
b_1	1.5956	3.2963	0.03528	0.072884	1.9797	4.0897	2.009	4.1502
b_2	0.88267	1.8235	-0.0014645	0.0030254	$-2.3467 \cdot 10^{-17}$	$4.8479 \cdot 10^{-17}$	$-1.7504 \cdot 10^{-16}$	$3.616 \cdot 10^{-16}$
b_3	1.9777	4.0856	-0.0014645	0.0030254	-0.098517	0.20352	$-1.2156 \cdot 10^{-15}$	$2.5113 \cdot 10^{-15}$
b_{12}	0.5375	0.84986	–	–	–	–	–	–
b_{13}	0.5375	0.84986	$-6.9389 \cdot 10^{-18}$	$1.0971 \cdot 10^{-17}$	–	–	–	–
b_{23}	0.5375	0.84986	0.0025	0.0039528	–	–	–	–
b_{11}	-0.050032	0.068811	–	–	-0.12931	0.17784	$1.248 \cdot 10^{-14}$	$1.7164 \cdot 10^{-14}$
b_{22}	0.551	0.75781	-0.00015483	0.00029436	-0.058597	0.08059	$2.669 \cdot 10^{-14}$	$3.6708 \cdot 10^{-14}$
b_{33}	0.020678	0.028439	–	–	0.082823	0.11391	$-3.1294 \cdot 10^{-15}$	$4.304 \cdot 10^{-15}$

Оскільки частина коефіцієнтів в отриманих рівняннях є незначущими, необхідно провести подальшу статистичну обробку моделі. Така обробка проведена і передбачала поетапне виключення складових моделі у разі їх незначущості з подальшим перерахунком значень коефіцієнтів, що залишилися, і перевіркою адекватності моделі.

Після виключення невагомих коефіцієнтів одержано остаточні моделі:

$$\hat{y}_1 = 95.148 + 1.5956x_1 + 0.88267x_2 + 1.9777x_3 + 0.5375x_1x_2 + 0.5375x_1x_3 + 0.5375x_2x_3 + 0.03226x_2^2;$$

$$\hat{y}_2 = 0.45867 + 0.03528x_1;$$

$$\hat{y}_3 = 5.2729 + 1.9797x_1 - 0.13859x_1^2;$$

$$\hat{y}_4 = 33.6 + 2.009x_1,$$

де \hat{y} – прогнозовані значення вихідної змінної за моделями.

Перевірку адекватності отриманих математичних моделей здійснено за критерієм Фішера (*табл. 6*).

Таблиця 6

Визначення адекватності моделі експериментальним даним

Критерій адекватності	y_1	y_2	y_3	y_4
Критерій Стюдента табличний, t_r (5 %)	3.18	3.18	3.18	3.18
Дисперсія адекватності, $s^2_{ад.}$	0.48878	$1.345 \cdot 10^{-5}$	0.054348	$1.194 \cdot 10^{-5}$
Критерій Фішера розрахунковий, F_p	0.15274	$4.2031 \cdot 10^{-6}$	0.016984	$3.73 \cdot 10^{-5}$
Критерій Фішера табличний, F_r ($f_1, f_2, p = 0.05$)	8.8868 (7; 3)	8.7446 (13; 3)	8.7446 (13; 3)	8.7446 (13; 3)

Оскільки розрахункові значення критерію Фішера є меншими за їх табличні значення (за рівня значущості 0.05), одержані моделі адекватно описують досліджуваний процес. У табл. 7 представлено експериментальні (y_n) і розраховані (\hat{y}_n) значення змінних за отриманими математичними моделями.

Таблиця 7

Відповідність моделей експериментальним даним

Номер складу	y_1	\hat{y}_1	y_2	\hat{y}_2	y_3	\hat{y}_3	y_4	\hat{y}_4
1	93.1	92.87	0.43	0.423	3.1	3.15	31.6	31.59
2	93.3	93.91	0.50	0.494	7.0	7.11	35.6	35.61
3	92.8	92.48	0.42	0.423	3.1	3.15	31.6	31.59
4	96.3	95.67	0.49	0.494	7.0	7.11	35.6	35.61
5	94.1	94.67	0.42	0.423	3.1	3.15	31.6	31.59
6	97.6	97.86	0.49	0.494	7.0	7.11	35.6	35.61
7	97.1	96.44	0.42	0.423	3.1	3.15	31.6	31.59
8	101.6	101.78	0.49	0.494	7.0	7.11	35.6	35.61
9	98.0	97.83	0.52	0.518	8.4	8.21	37.0	36.98
10	92.0	92.47	0.40	0.399	1.6	1.55	30.2	30.22
11	97.4	98.22	0.46	0.459	5.2	5.27	33.6	33.60
12	96.0	95.25	0.46	0.459	5.2	5.27	33.6	33.60
13	98.8	98.47	0.46	0.459	5.2	5.27	33.6	33.60
14	91.6	91.82	0.46	0.459	6.0	5.27	33.6	33.60
15	95.2	95.15	0.46	0.459	5.2	5.27	33.6	33.60

Показано порівняння параметрів (показників якості) бензинів, що отримані експериментальним шляхом, та прогнозованих результатів із використанням наведених вище моделей.

На рис. 1 представлено графічні відгуки досліджуваних параметрів для факторів x_1 (вміст бензину) та x_2 (вміст біоізобутилового спирту) в інтервалі ± 2 кодовані одиниці при фіксованому значенні x_3 на рівні 0.

З рис. 1 б–г видно, що вміст бензолу, сірки та ароматичних вуглеводнів корелює винятково з вмістом бензину в досліджуваних сумішах, оскільки використані добавки (біоізобутиловий спирт та метилтретбутиловий ефір) не містять у своєму складі вказаних сполук. Водночас вплив факторів на показник детонаційної стійкості (октанове число) демонструє досить складну взаємодію між ними.

На рис. 1а показано, що збільшення вмісту біоізобутилового спирту в досліджуваній композиції достатньо ефективно підвищує детонаційну стійкість палива в діапазоні від 93 до 96.

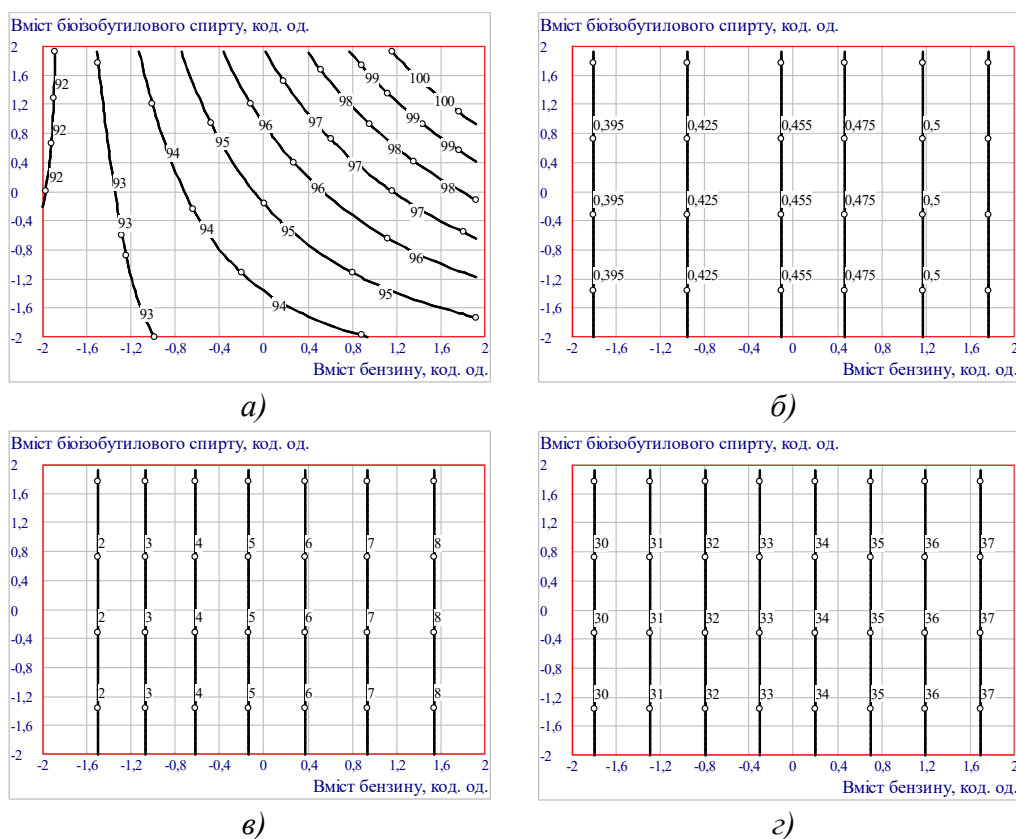


Рис. 1. Діаграми відгуків для факторів x_1 і x_2 при $x_3 = 0$ за параметрами:
 а) октанове число; б) вміст бензолу, % об.;
 в) вміст сірки, мг/кг; з) вміст ароматичних вуглеводнів, % об.

Для більш повного вивчення взаємодії досліджуваних факторів на показник детонаційної стійкості побудовано діаграми графічних відгуків факторів x_2 – x_3 при фіксованих значеннях фактора x_1 з фіксацією на рівнях $-1, 0, +1$ (рис. 2).

Отримані моделі використано для пошуку оптимального складу високооктанового бензину. При визначенні оптимального вмісту компонентів враховано вимоги ДСТУ 7687:2015, де для високооктанових бензинів обмежено вміст ароматичних вуглеводнів – не більш як 35 об. %, сірки – не більш як 10 мг/кг, бензолу – не більш як 1.0 об. %, а октанове число в залежності від марки бензину: А-92 (не менше ніж 92), А-95 (не менше ніж 95), А-98 (не менше ніж 98) [11; 12]. Верхній рівень бажаних значень октанового числа встановлено на одиницю вищим за мінімальний рівень стандарту, оскільки вищий рівень означатиме надлишкову детонаційну стійкість. Також задля підвищення точності розрахунків для параметра "вміст ароматичних вуглеводнів" встановлено мінімальний рівень 30 об. %, оскільки нижчий рівень з урахуванням вмісту бензинів різних способів промислового отримання в досліджуваних складах є недосяжним.

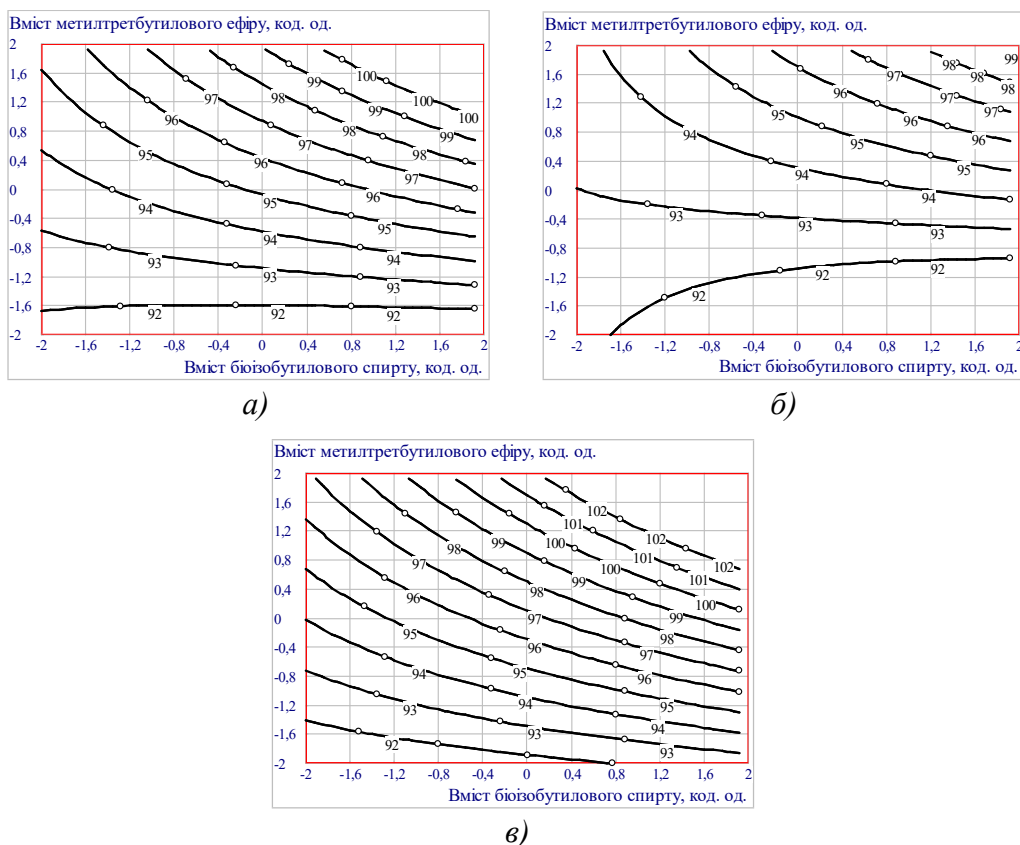


Рис. 2. Діаграми відгуків для факторів x_2 і x_3 за параметром "октанове число" при фіксованих значеннях фактора x_1 на рівні: а) 0; б) -1; в) +1

Методом багатокритеріальної оптимізації масиву даних за отриманими математичними моделями відповідно до заданих бажаних значень параметрів за їх рівнозначної вагомості (0.25) отримано у кодованих одиницях і натуральних величинах значення факторів, що відповідають оптимальним складам високооктанового бензину з біодобавками. Параметри та результати пошуку оптимального складу наведено в табл. 8.

Таблиця 8

Параметри та результати оптимізації складів високооктанових бензинів із використанням біодобавок

Марка бензину	Задані бажані значення параметрів				Отримані значення факторів					
					в кодованих одиницях			в натуральних одиницях, мас. %		
	y_1	y_2	y_3	y_4	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3
A-92	92–93	0.0–1.0	0–10	30–35	-1.12	+0.84	-0.85	65.28	5.68	6.30
A-95	95–96	0.0–1.0	0–10	30–35	-0.96	+1.21	+0.81	66.24	6.42	9.62
A-98	98–99	0.0–1.0	0–10	30–35	-0.47	+1.20	+1.48	69.18	6.40	10.96

З урахуванням одержаних результатів оптимізації для факторів x_1 , x_2 , x_3 , визначено оптимальні склади високооктанових бензинів для марок А-92, А-95 та А-98 (табл. 9).

Таблиця 9

Оптимальні склади високооктанових бензинів із використанням біодобавок

Назва компонента	Вміст компонента залежно від марки високооктанового бензину, мас. %		
	А-92	А-95	А-98
Бензин каталітичного риформінгу	35.90	36.43	38.05
Бензин каталітичного крекінгу	22.85	23.18	24.21
Бензин прямогінний	6.53	6.62	6.92
Біоізобутиловий спирт	5.68	6.42	6.40
Метилтретбутиловий ефір	6.30	9.62	10.96
Рафінат бензольного виробництва	12.51	9.75	7.40
Сольвент нафтовий	10.23	7.98	6.06
Усього	100.00	100.00	100.00

Стабілізуючи фактор x_1 (вміст бензину) на оптимальному рівні та задавши бажаний рівень вихідних змінних в діапазоні їх технологічних значень від мінімуму до максимуму, можна отримати компромісну ділянку вмісту факторів x_2 і x_3 (рис. 3) [13].

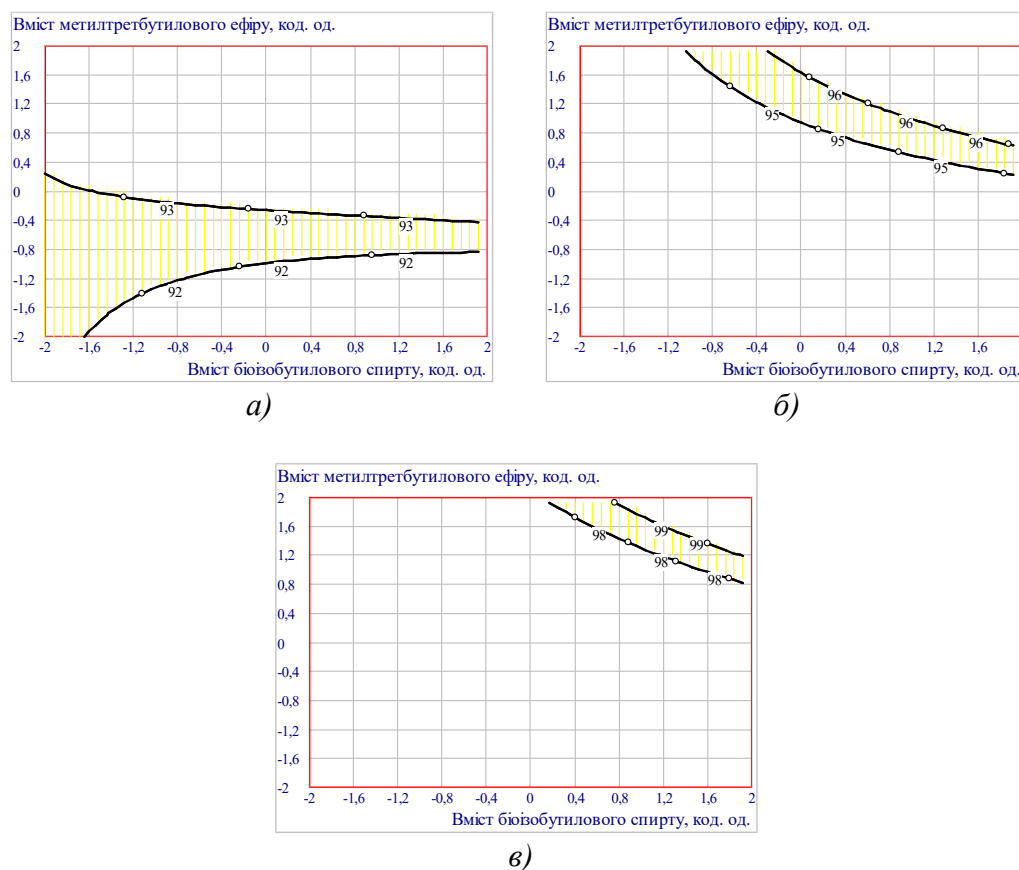


Рис. 3. Компромісна область оптимального складу високооктанового бензину із використанням біодобавок марки:

- а) А-92 при фіксованих значеннях фактора x_1 на рівні -1.12 (65.28 мас. %);
 б) А-95 при фіксованих значеннях фактора x_1 на рівні -0.96 (66.24 мас. %);
 в) А-98 при фіксованих значеннях фактора x_1 на рівні -0.47 (69.18 мас. %)

Так, якщо вміст бензину в композиції А-92 стабілізований на визначеному оптимальному рівні (-1.12 код. од.; 65.28 мас. %), то отримана компромісна ділянка (див. рис. 3а) передбачає витрати біоізо-бутилового спирту та метилтретбутилового ефіру в оптимальному режимі. При цьому вектор керування складом суміші розташований в точці з координатами: $x_2 = +0.84$; $x_3 = -0.85$, що в натуральних величинах відповідає витратам зазначених компонентів 5.68 і 6.3 мас. % відповідно. Аналогічним способом визначено компромісні ділянки складу високооктанового бензину, що відповідає маркам А-95 (див. рис. 3б) і А-98 (див. рис. 3в).

Висновки. Одержано оптимальні склади високооктанових бензинів різних марок із використанням біодобавок. Розраховано витрати біоізо-бутилового спирту та метилтретбутилового ефіру в суміші високооктанового бензину з біодобавками. Встановлено оптимальну компромісну область для отримання бензинів із заданими параметрами з можливістю регулювання вмісту біодобавок у досліджуваних композиціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко С. В., Іванов С. В., Бурлака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки: монографія. Київ: НАУ, 2005. 216 с.
2. Топільницький П. І., Гринишин О. Б., Лазорко О. І., Романчук В. В. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості товарних нафтопродуктів: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 248 с.
3. Голич Ю. В., Бойченко С. В., Топільницький П. І., Романчук В. В. Залежність зневоднення нафт від їх фізико-хімічної характеристики. *Нафтогазова галузь України*. 2015. № 1. С. 25-30.
4. Гайдай О. О., Зубенко С. О., Полункін Є. В., Пилявський В. С. Екологічні та експлуатаційні характеристики палива моторного біологічного Е-85. Матеріали збірника наукових статей III Всеукраїнського з'їзду екологів. Вінниця: ВНТУ, 2011. Т. 1. С. 308-310.
5. Гайдай О. О., Зубенко С. О., Старжинська Л. І., Полункін Є. В., Ковтун О. Г. Паливна суміш для двигунів внутрішнього згоряння. Патент України № 63041; опубл. 26.09.2011, Бюл. № 18/2011.
6. Сазонов А. С., Ушаков А. И., Орешенков А. В. Качество автомобильных топлив. СПб: НПИКЦ, 2006.
7. Ткачук В. В. Оцінка якості світлих нафтопродуктів. *Міжнар. наук.-практ. журнал "Товари і ринки"*. 2014. № 1 (15). С. 131-138.
8. Tkachuk V., Rechun O., Melnic Iu. Study of operational properties of motor biofuels. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2019. Vol. 65. Issue 2. P. 70-71.
9. Мережко Н., Ткачук В., Зінченко О. Експлуатаційні властивості бензинів з багатофункціональними добавками. *Міжнар. наук.-практ. журнал "Товари і ринки"*. 2019. № 4 (32). С. 50-61. doi: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(32\)05](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(32)05).
10. Гайдадин А. Н., Ефремова С. А., Нистратов А. В. Методы оптимизации в технологической практике. Волгоград: ВГТУ, 2008. 16 с.

11. Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF>.
12. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62187.
13. Халафян А. А. Статистический анализ данных. М.: Бином, 2007. 512 с.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2020.

Merezhko N., Tkachuk V., Komakha V. Optimization of the composition of high-octane gasolines with bioadditives.

Background. The influence of the composition (gasoline of catalytic reforming, hydrotreated catalytic cracking, raffinate of benzene production, petroleum solvent, straight-run gasoline, bioisobutyl alcohol, methyl tert-butyl ether) on the performance properties of gasoline was studied. Mathematical models of the "composition – properties" type have been developed, which made it possible to optimize the ratio of the components of the composition of high-octane gasoline and bioadditives.

The *aim of the article* is to optimize the composition to obtain high-octane gasoline for spark ignition engines using bioadditives.

Materials and methods. Mathematical descriptions of the dependence of gasoline properties on the content of components and their ratios were obtained by the method of regression analysis of experimental data using the central composite rotatable plan. Mathematical processing of the experimental results was performed using STAT-SENS software.

Results. The adequacy of the obtained mathematical models was checked according to Fisher's test. Since the calculated values of the Fisher test are smaller than their tabular values (at a significance level of 0.05), the obtained models adequately describe the studied process.

The obtained models were used to find the optimal composition of high-octane gasoline. When determining the optimal content of components, it was taken into account that the content of aromatic hydrocarbons in the gasoline composition should not exceed 35 vol.%, Sulfur content – not more than 10 mg / kg, benzene content – not more than 1.0 vol.%, And octane number – in the ranges corresponding to the brand of gasoline: A-92 (92–93), A-95 (95–96), A-98 (98–99). By the method of multicriteria optimization of the data array according to the obtained mathematical models, the values of factors corresponding to the optimal compositions of high-octane gasoline with bioadditives were obtained in coded units and natural values.

Conclusion. The optimal compositions of high-octane gasolines of different brands with the use of bioadditives were obtained. The consumption of bioisobutyl alcohol and methyl tert-butyl ether in a mixture of high-octane gasoline with bioadditives is calculated. The optimal compromise area for obtaining gasolines with specified parameters with the possibility of regulating the content of bioadditives in the studied compositions is established.

Keywords: gasoline, bioadditives, mathematical modeling, octane number, bioisobutyl alcohol, methyl tert-butyl ether, optimal composition.

REFERENCES

1. Bojchenko, S. V., Ivanov, S. V., & Burlaka, V. G. (2005). *Motorni palyva i masla dlja suchasnoi' tehniki [Motor fuels and oils for modern technology]*. Kyi'v: NAU [in Ukrainian].
2. Topil'nyc'kyj, P. I., Grynshyn, O. B., Lazorko, O. I., & Romanchuk, V. V. (2015). *Fizyko-himichni ta ekspluatacijni vlastyvosti tovarnyh naftoproduktiv [Physico-chemical and operational properties of commercial petroleum products]*. L'viv: Vydavnytvo L'vivs'koi' politehnyky [in Ukrainian].

3. Golych, Ju. V., Bojchenko, S. V., Topil'nye'kyj, P. I., & Romanchuk, V. V. (2015). Zalezhnist' znevodnennja naft vid i'h fizyko-himichnoi' harakterystyky [Dependence of oil dehydration on its physicochemical characteristics]. *Naftogazova galuz' Ukrainy – Oil and gas industry of Ukraine, 1*, 25-30 [in Ukrainian].
4. Gajdaj, O. O., Zubenko, S. O., Polunkin, Je. V., & Pyljavs'kyj, V. S. (2011). Ekologichni ta ekspluatacijni harakterystyky palyva motornogo biologichnogo E-85 [Ecological and operational characteristics of E-85 motor biological fuel]. *Materialy zbirnyka naukovykh statej III Vseukrai'ns'kogo z'i'zdu ekologiv – Materials of the collection of scientific articles of the III All-Ukrainian Congress of Ecologists. Vinnycja: VNTU. (Vol. 1), (pp. 308-310) [in Ukrainian].*
5. Gajdaj, O. O., Zubenko, S. O., Starzhyn's'ka, L. I., Polunkin, Je. V., & Kovtun, O. G. (2011). *Palyvna sumish dlja dvyguniv vnutrishn'ogo zgorjannja [Fuel mixture for internal combustion engines]. Patent UA N 63041 [in Ukrainian].*
6. Sazonov, A. S., Ushakov, A. I., & Oreshenkov, A. V. (2006). *Kachestvo avtomobil'nyh topliv [Automotive fuel quality]. Saint Petersburg: NPIKC [in Russian].*
7. Tkachuk, V. V. (2014). Ocinka jakosti svitlyh naftoproduktiv [Quality assessment of light petroleum products]. *Mizhnar. nauk.-prakt. zhurnal "Tovary i rynky" – International scientific - practical magazine "Commodities and markets", 1 (15), 131-138 [in Ukrainian].*
8. Tkachuk, V., Rechun, O., & Melnic, Iu. (2019). Study of operational properties of motor biofuels. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources. (Vol. 65). (Issue 2), (pp. 70-71) [in English].*
9. Merezhko, N., Tkachuk, V., & Zinchenko, O. (2019). Ekspluatacijni vlastyivosti benzyniv z bagatofunktional'nymy dobavkamy [Performance properties of gasolines with multifunctional additives]. *Mizhnar. nauk.-prakt. zhurnal "Tovary i rynky" – International scientific - practical magazine "Commodities and markets", 4 (32), 50-61. doi: 10.31617/tr.knute.2019(32)05 [in Ukrainian].*
10. Gajdadin, A. N., Efremova, S. A., & Nistratov, A. V. (2008). *Metody optimizacii v tehnologicheskoy praktike [Optimization methods in technological practice]. Volgograd: VGTU [in Russian].*
11. *Tehnichnyj reglament shhodo vymog do avtomobil'nyh benzyniv, dyzel'nogo, sudnovykh ta kotel'nyh palyv [Technical regulations on requirements for motor gasoline, diesel, marine and boiler fuels]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF> [in Ukrainian].*
12. Benzyny avtomobil'ni Jevro. Tehnichni umovy [Automobile gasoline Euro. Specifications]. (2015). DSTU 7687:2015. Kyi'v: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62187 [in Ukrainian].
13. Halafjan, A. A. (2007). *Statisticheskij analiz dannyh [Statistical Data Analysis]. Moscow: Binom [in Russian].*