

УДК 629.113

Добровольський О.С.

Національний транспортний університет

Карев С.В.

Національний транспортний університет

Ступак Н.С.

Національний транспортний університет

Овчинніков Д.В.

Національний транспортний університет

Ричок С.О.

ДП «ДержавтотрансНДІпроект»

ВПЛИВ ВМІСТУ СПИРТУ В БЕНЗИНІ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ СУЧАСНОГО ДВИГУНА

З метою встановлення доцільності використання сумішевих палив проведені дослідження щодо впливу добавки етанолу на показники роботи двигуна обладнаного системою впорскування палива з зворотнім зв'язком. У ході дослідження особлива увага приділена паливо-економічним показникам роботи та розширенню використання спиртових добавок. У статті наведено опис трифакторного експерименту та дослідження щодо визначення зміни показників роботи двигуна із системою впорскування та зворотнім зв'язком. Представлені результати досліджень щодо впливу виду палива на паливно-енергетичні показники роботи двигуна. Встановлено, що годинна витрата палива та коефіцієнт надміру повітря зростають разом із збільшенням відсотку вмісту спирту в бензині.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, бензин, етанол, експеримент, витрата палива.*

Постановка проблеми. Продукти перегонки нафти ідеально підходять для використання в якості автомобільного палива: вони легко займаються, виділяють велику кількість енергії, процес їх горіння легко контролювати. Однак людству відомо, що нафта є невідновлювальним ресурсом, який, до того ж, швидко вичерпується. Тому вже не перше десятиліття людство розглядає альтернативні джерела енергії для заміни нафти. Альтернативні види палива є однією з найбільш перспективних розробок сучасності. Причому мова йде не тільки про зменшення обсягів видобутку нафти, але і про захист навколишнього середовища, оскільки продукти горіння традиційного палива завдають їй чималої шкоди.

Автомобільний транспорт для більшості країн і окремих регіонів є основним джерелом забруднення довкілля. Після заборони застосування свинцевовмісних антидетонаторів наступним

кроком на шляху захисту повітряного басейну від токсичних сполук у складі відпрацьованих газів стало залучення до складу автомобільних бензинів високооктанових кисневмісних добавок – оксигенатів (МТБЕ – метилтретбутилового ефіру, ЕТБЕ – етилтретбутилового ефіру, метанолу, етанолу та ін.). Ці добавки, разом із підвищенням октанового числа бензину, сприяють зниженню вмісту вуглеводнів і оксиду вуглецю у відпрацьованих газах [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні в 1998–2006 роках проведено широкі дослідження використання добавок біоетанолу до бензину. Зокрема, ДП «ДержавтотрансНДІпроект» спільно з ДП «УкрНДІНП «Масма», ДП «УкрНДІспиртбіопрод», НТУ та іншими організаціями і підприємствами у 1998–2004 проведено комплексні випробування сумішевих бензинів, виготовлених з використанням біоетанолу [2],

за результатами яких у 2000 році був розроблений ГСТУ на сумішеві бензини [3]. Основні експериментальні дослідження були проведені із застосуванням сумішевих бензинів із вмістом біоетанолу 6% та 8% за об'ємом.

Вплив добавки біоетанолу до штатного бензину на параметри роботи ДВЗ у своїх дисертаційних роботах розглядали Устименко В.С., Захарченко О.М., Попов Д.В. та ін. [4–7].

У проведених дослідженнях у Національному транспортному університеті спільно з ДП «ДержавтотрансНДІпроект», а також Житомирським державним технологічним університетом [8; 9], встановлено залежність октанового числа сумішевих бензинів від вмісту високооктанових кисневмісних домішок.

Подібні дослідження з використання етанолу як добавки до бензинів отримані також і в інших країнах.

Аналіз літературних і патентних даних показує, що застосування етанолу як добавки до штатного бензину дає покращення екологічних, економічних та енергетичних показників роботи двигуна. Однак існує цілий ряд економічних, організаційних та технічних проблем, пов'язаних із застосуванням етанолу, які потребують вирішення. У жодній із існуючих наукових робіт не досліджувалась добавка біоетанолу до штатного бензину на фіксованих режимах у широкому діапазоні навантажень при концентрації етанолу від 0 до 40%. У зв'язку із цим у роботі проведено дослідження впливу вмісту спирту на паливно-

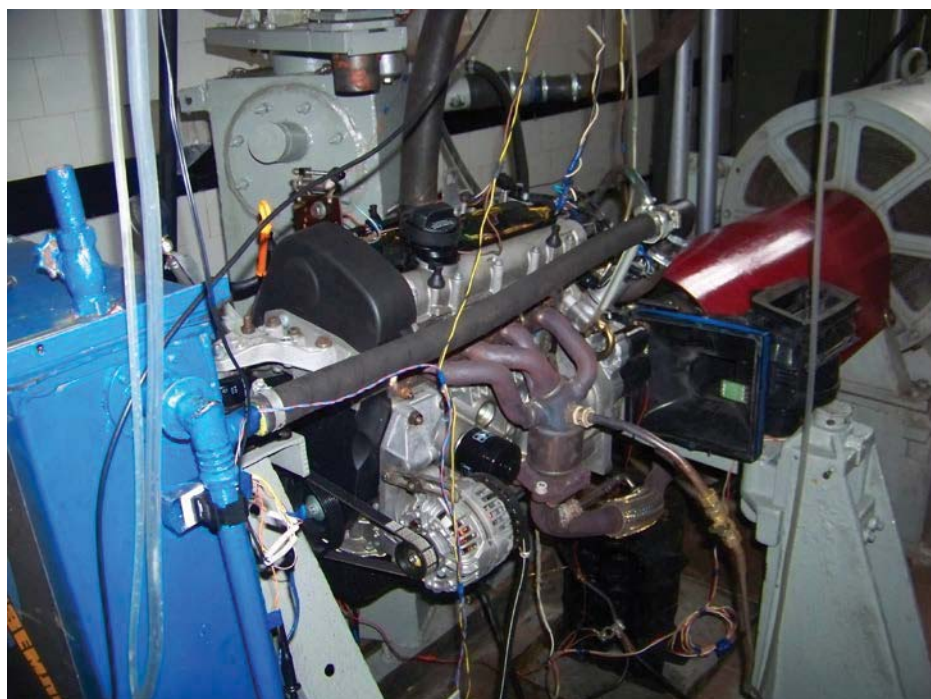


Рис. 1. Двигун Volkswagen BBU на гальмівному стенді

Таблиця 1

Технічні характеристики двигуна Volkswagen BBU

Найменування показника, одиниці вимірювання	Значення
Об'єм двигуна, л	1,39
Тип розташування циліндрів	Рядний
Кількість циліндрів	4
Хід поршня, мм	75,6
Діаметр циліндра	76,5
Ступінь стискання	10,5
Система впорскування палива	Magneti Marelli 4MV
Потужність, кВт	55 при 5000 хв-1
Максимальний крутний момент, Н·м	126 при 3800 хв-1
Паливо	А 95

енергетичні показники роботи сучасного автомобільного двигуна.

Метою експерименту є дослідження паливно-енергетичних показників автомобільного двигуна під час його роботи на штатному бензині і товарному бензині з різним вмістом спирту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Випробування проведено в Національному транспортному університеті на кафедрі двигунів та теплотехніки. Для проведення порівняльних випробувань обрано чотиритактний, чотирициліндровий, рядний двигун Volkswagen BBU (рис. 1), обладнаний системою впорскування палива із зворотним зв'язком і двоступеневою з прискореним прогрівом та рециркуляцією ВГ системою нейтралізації відпрацьованих газів, технічні характеристики якого наведено в табл. 1 [10].

Експериментальні стендові дослідження проводили на двигуні при живленні товарним бензином А-95Е0, бензином А-95Е40 та сумішами товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40. Дослідження проводились на експериментальній установці, до складу якої входить гальмівний стенд SAK-670 (заводський № 461789) виробництва Німеччини, потужністю 250 кВт і максимальною частотою обертання 3000 хв⁻¹. Керування стендом здійснювалось з пульта керування. Поточні значення частоти обертання колінчатого вала і крутного моменту виводили у цифровій формі на табло панелі пульта керування.

Частоту обертання колінчатого вала двигуна вимірювали штатним частотоміром, вмонтованим в стенд, і частотоміром Ф5035 (заводський № 190) з індуктивно-імпульсним датчиком, який розташований напроти зубчатого вінця маховика.

Розрідження у впускному трубопроводі двигуна вимірювали зразковим вакууметром (заводський № 93160).

Тиск оливи в системі мащення двигуна вимірювали манометром (заводський № 66487) з класом точності 0,5.

Витрату палива в усталених режимах вимірювали ваговим способом електронними терезами МЕРА ВМ-2/3 (заводський № 51184) [11]. Ціна поділки шкали терезів складає 0,5 г. Дозу палива для заміру встановлювали залежно від режиму роботи двигуна.

Витрату повітря вимірювали ротаційним лічильником газу РГ-100 (заводський № 9353). Ціна поділки шкали лічильника складає 0,01 м³. Залежно від режиму роботи двигуна встановлювали дозу повітря для заміру.

Вимірювання часу здійснювали електронним секундоміром з точністю 0,01 с.

Положення дросельних заслінок, кут випередження запалювання та температуру охолоджуючої рідини визначали за допомогою програмного забезпечення VAG Tool 209.

Під час проведення експерименту досліджувались не тільки енергетичні показники, а й показники токсичності роботи двигуна. Аналіз показників токсичності буде приведений в подальших роботах.

Атмосферний тиск вимірювали барометром-анероїдом (заводський № 5968). Відносну вологість повітря – психрометром БМт2 (заводський № 0833).

При випробуваннях вимірювали крутний момент двигуна за допомогою балансирного динамометра DS 926-4/V, частоту обертання колінчатого вала, витрату палива, температуру охолоджуючої рідини, палива, масла і відпрацьованих газів, кут випередження запалювання, тиск в системі оливи і атмосферний тиск.

Спочатку визначили всі показники на різних режимах роботи двигуна на товарному бензині А-95Е0. На наступному етапі отримали аналогічні показники при роботі двигуна на сумішах товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40 різних концентрацій. У кінці отримали показники на бензині А-95Е40. Сумішевий бензин отриманий шляхом змішування товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40. Як енергетичні показники

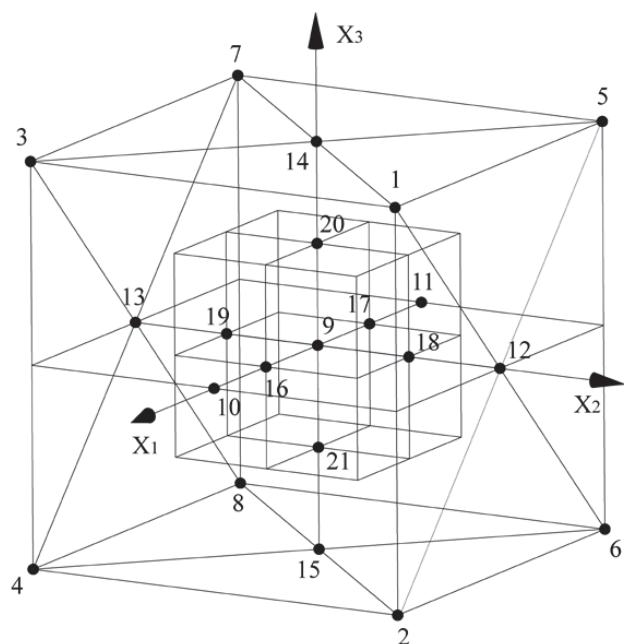


Рис. 2. План експерименту для функції $y=f(M_{кр}, n, r_c)$

Координати дослідних точок

№ дослідю	Нормовані координати			Звичайні координати		
	X ₁	X ₂	X ₃	z ₁	z ₂	z ₃
1	1	1	1	36	5000	100
2	1	1	-1	0	5000	100
3	1	-1	1	36	1400	100
4	1	-1	-1	0	1400	100
5	-1	1	1	36	5000	0
6	-1	1	-1	0	5000	0
7	-1	-1	1	36	1400	0
8	-1	-1	-1	0	1400	0
9	0	0	0	18	3200	50
10	1	0	0	18	3200	100
11	-1	0	0	18	3200	0
12	0	1	0	18	5000	50
13	0	-1	0	18	1400	50
14	0	0	1	36	3200	50
15	0	0	-1	0	3200	50
16	+1/2	0	0	18	3200	75
17	-1/2	0	0	18	3200	25
18	0	+1/2	0	18	4100	50
19	0	-1/2	0	18	2300	50
20	0	0	+1/2	27	3200	50
21	0	0	-1/2	9	3200	50

обрані потужність двигуна, крутний момент, питома ефективна витрата палива.

Враховуючи, що енергетичні, економічні, екологічні показники роботи двигуна (годинна витрата палива $G_{\text{пал}}$ та годинна витрата повітря), кут випередження запалювання, температура відпрацьованих газів, залежать від спільної дії трьох параметрів (крутного моменту ($M_{\text{кр}}$), частоти обертання двигуна (n) та об'ємної частки біоетанолу у паливі (r_c)) прийнято рішення проводити стендові випробування двигуна VW BBU 1,4 методом трифакторного експерименту на п'яти рівнях.

Для отримання найбільш об'єктивних результатів складений план експерименту, з охопленням усіх можливих режимів роботи двигуна.

Пронормувавши осі за планом, зображеним на рис. 2, вчені поставили експеримент в 15 точках, проміжні точки використовувались для перевірки аналітичного опису експерименту.

Координати даних точок приведені у таблиці 2.

Для визначення годинної витрати палива в усіх режимах роботи двигуна отримана поліноміальна залежність параметру (y), що відповідає годинній витраті палива ($G_{\text{пал}}$) та коефіцієнту надміру повітря (α) від незалежних параметрів (r_c), (n), ($M_{\text{кр}}$). Підстановка знайдених коефіцієнтів апроксимації, наведених у таблиці 3, для різних регулювань системи живлення в рівняння (1) дозволила отримати

залежності, що являють собою статистичну модель процесу, який вивчається.

$$Y = f(r_c, n, M_k) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_{11} x_1^2 + \alpha_{22} x_2^2 + \alpha_{33} x_3^2 + \alpha_{12} x_1 x_2 + \alpha_{13} x_1 x_3 + \alpha_{23} x_2 x_3. \quad (1)$$

Погрішність апроксимації за результатами 21 дослідю оцінюємо за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_{\text{розрах}} - y_{\text{замір}})^2}{N - 10}}$$

Таблиця 3

Коефіцієнти поліноміальних залежностей

Номер точки	$G_{\text{пал}}$	α
1	17.908	0.863
2	3.222	1
3	4.333	1.01
4	1.132	1.023
5	16.798	0.842
6	2.347	0.998
7	4.048	0.976
8	1.082	1.008
9	4.93	1.027
10	5.335	1.052
11	4.755	1.033
12	9.295	0.943
13	1.875	1.022
14	10.003	0.951
15	1.177	1.036

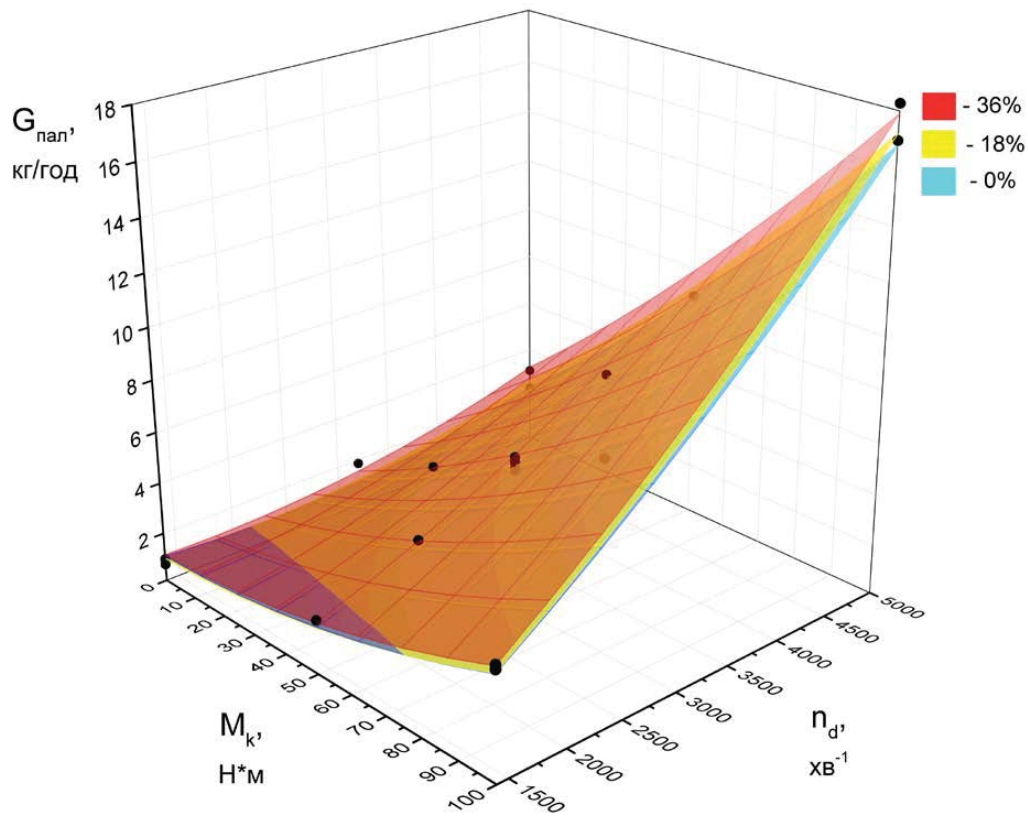


Рис. 3. Залежність витрати палива від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала

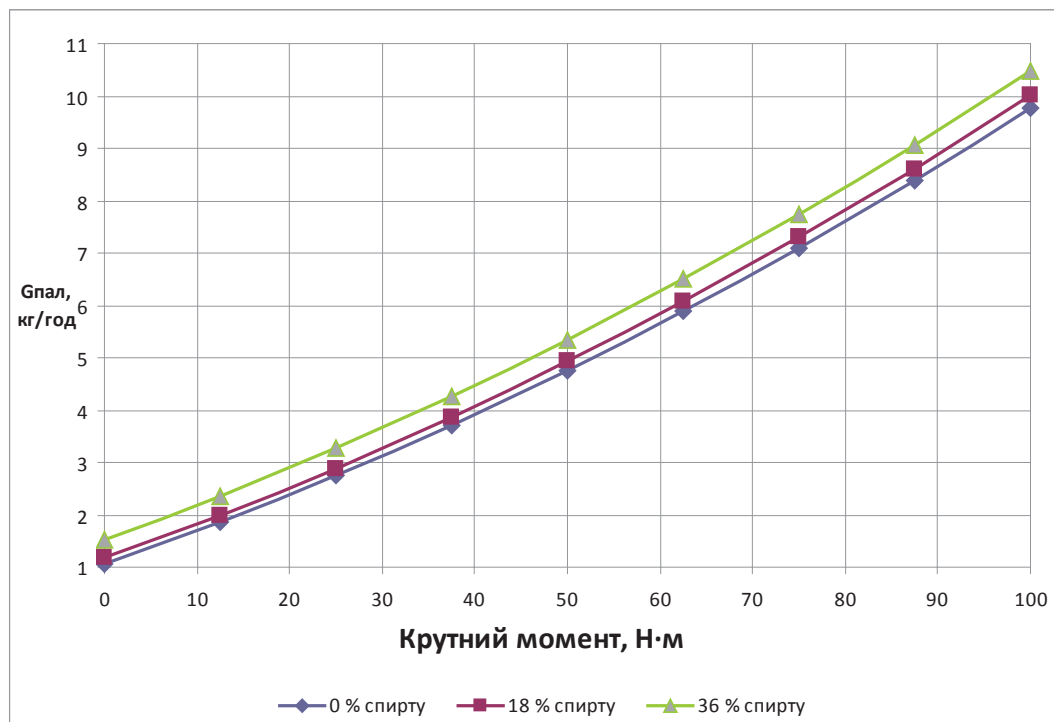


Рис. 4. Годинна витрата палива при $n=3200$ хв⁻¹

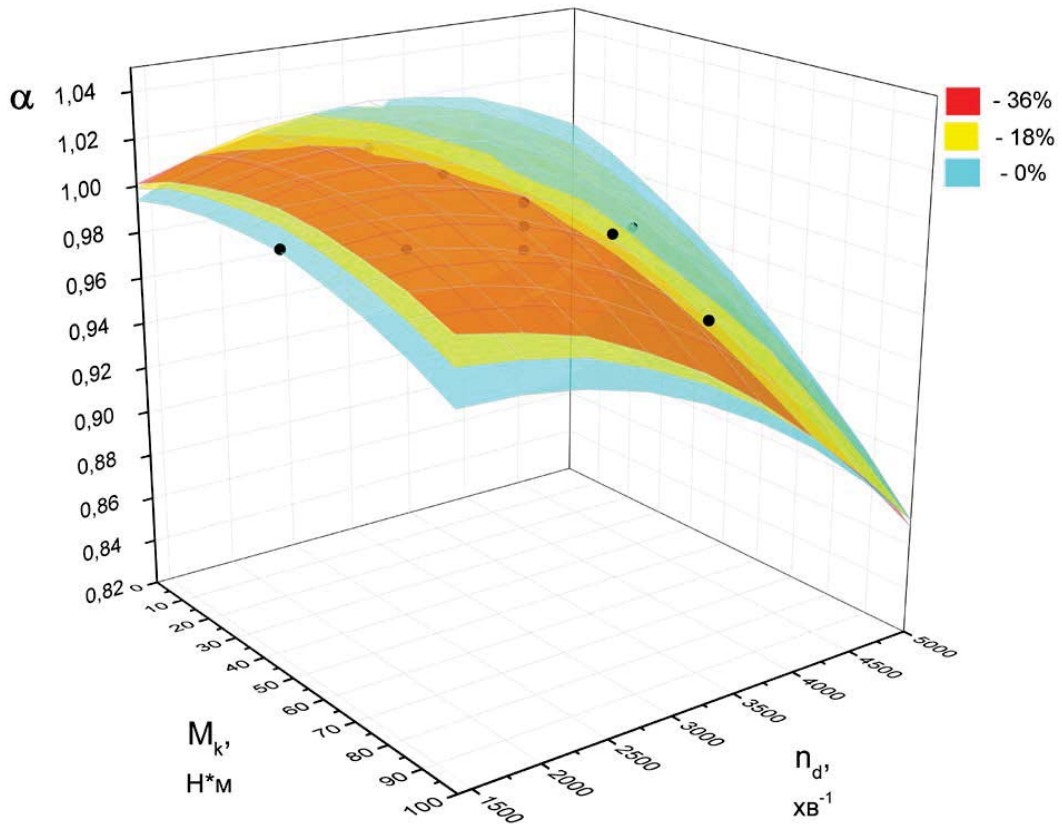


Рис. 5. Залежність коефіцієнту надміру повітря від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала

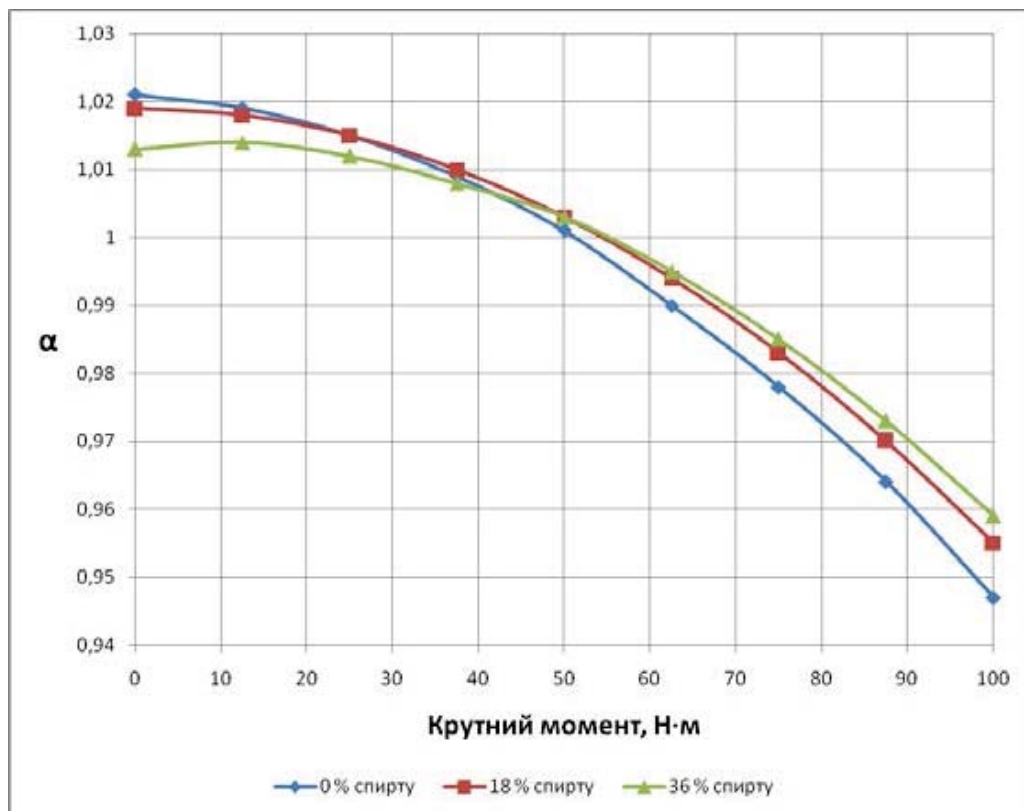


Рис. 6. Коефіцієнт надміру повітря при $n=3200 \text{ xv}^{-1}$

$$\sigma(G_{\text{пал}})=0,135$$

$$\sigma(\alpha)=0,006.$$

Під час випробувань у вказаних п'ятнадцяти точках експериментально були виміряні наступні показники роботи двигуна: частота обертання колінчастого вала (n), крутний момент (M_k), час витрати палива і повітря, кут випередження запалювання, температура охолоджувальної рідини, оливи, відпрацьованих газів, а також тиск оливи; були розраховані значення ефективної потужності, годинних витрат повітря і палива, коефіцієнт надміру повітря (α), питома витрата палива. У процесі проведення експерименту підтримувалась температура охолоджуючої рідини в межах 80-90°C.

Отримані результати в ході проведення експерименту приведені у вигляді графічного зображення годинної витрати палива в залежності від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала. На рис. 3 зображено три площини, що відповідають витраті палива з вмістом 0%, 18%, 36% спирту відповідно.

Із рис. 4 видно, що годинна витрата палива $G_{\text{пал}}$ під час роботи двигуна за частоти обертання колінчастого вала 3200 хв⁻¹ на сумішевому бензині із добавкою спирту 18% збільшилась на 3,55% порівняно із штатним бензином. У той же час

збільшення концентрації спирту в бензині до 36%, веде до підвищення годинної витрати палива $G_{\text{пал}}$ на 7,6 %. Це пояснюється меншою нижчою теплою згоряння спирту, що складає 36% об'єму сумішевого бензину.

Під час аналізу проведеного експерименту із застосуванням добавки спирту до бензину є доцільним провести порівняння коефіцієнту надміру повітря α при роботі двигуна на паливі із різним вмістом спирту, що продемонстровано на рис. 5.

Підвищений вміст спирту в паливі не призвів до суттєвого збільшення коефіцієнта надміру повітря у зв'язку з роботою системи зворотнього зв'язку. Різниця показника α під час роботи двигуна на штатному та товарному бензині із вмістом спирту 36% не суттєва, що видно з рис. 6.

Висновки. Проведення експерименту за трьома факторами та на п'яти рівнях дозволяє в повній мірі охопити діапазон роботи двигуна при мінімальній кількості дослідів. У результаті проведеного експерименту встановлено, що перехід двигуна внутрішнього згоряння із системою впорскування із зворотнім зв'язком на бензин із вмістом спирту, який широко реалізовується на автомобільних заправних станціях, призводить до підвищення годинної витрати палива.

Список літератури:

1. Лю Синьчжоу. Разработка высокооктановых кислородсодержащих топливных композиций: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.07 «Химия и технология топлив и специальных продуктов»; Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2004. 24 с.
2. Редзюк А.М., Рубцов В.О., Устименко В.С., Михненко Є.О., Олійников О.П. Проблеми та перспективи застосування сумішних бензинів з високооктановою кисневмісною добавкою як автомобільного палива. Автошляховик України. Окр. вип. Вісник Центрального наукового центру ТАУ. 1999. № 2. С. 25.
3. ГСТУ 320.00149943.015-2000. Бензини моторні сумішеві. Технічні умови (зі змінами № 1 від 01.11.2002 і № 2 від 25.04.2005). Київ. Держнафтогазпром України, 2000. 24 с.
4. Устименко В.С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2006. 152 с.
5. Захарченко О.М. Покращення паливної економічності та екологічних показників автомобілів раціональним використанням бензинів з добавками біоетанолу: дис. канд.техн. наук: 05.22.20. Київ. 2008. 261 с.
6. Попов Д.В. Покращення екологічних показників автомобілів з нейтралізаторами при використанні бензинів з добавками біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2008. 220 с.
7. Щербатюк В.Б. Покращення екологічних показників двигунів підігрівом свіжого заряду при використанні бензину з добавкою біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2013. 220 с.
8. Гутаревич Ю. Ф., Редзюк А.М., Устименко В.С., Кульбако В.П. Вплив добавок спиртових сполук до бензину на показники двигунів і автомобілів Щорічний науково-виробничий журнал Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. 2009. № 16. С. 221–226.
9. Ільченко А.В. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів використанням моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками: дис.канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2003. 147 с.
10. Polo Model Year 2002. Self-Study Programme 263. Service. P.17.
11. Весы электронные ВМ–2/3(т). Руководство по эксплуатации: ЭК 133.00.00.000 РЭ / ООО «Завод Мера». Москва. 2003. 24 с.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СПИРТА В БЕНЗИНЕ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ

С целью установления целесообразности использования смесевых топлив проведены исследования влияния добавки этанола на показатели работы двигателя, оборудованного системой впрыска топлива с обратной связью. В ходе исследования особое внимание уделено топливно-экономическим показателям работы и расширению использования спиртовых добавок. В статье приведено краткое описание подготовки трехфакторного эксперимента и исследования по определению изменений показателей работы двигателя с обратной связью. Представленные результаты исследований влияния топлива на топливно-энергетические показатели работы. Установлено, что часовой расход топлива и коэффициент избытка воздуха увеличивается вместе с увеличением процента содержания спирта в бензине.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, бензин, спирт, эксперимент, расход топлива.

INFLUENCE OF ALCOHOL CONTENT IN GASOLINE ON THE FUEL ECONOMICITY OF THE MODERN ENGINE

In order to determine the expediency of using mixed fuels, the effect of ethanol addition on the performance of an engine equipped with a fuel injection system with feedback was studied. In the course of the study, special attention was paid to the fuel and economic performance of the work and the expansion of the use of alcohol additives. The article gives a brief description of the preparation of a three-factor experiment and a study to determine changes in engine performance with feedback. Presented results of studies of fuel effects on fuel and energy performance. It is established that the hourly fuel consumption and the excess air factor increase along with the increase in the percentage of alcohol in gasoline.

Key words: engine, gasoline, ethanol, experiments, fuel expenditure.