

Гутаревич Ю. Ф., Говорун А. Г., Корпач А. О., Філоненко О. Д.
Національний транспортний університет

ВПЛИВ ДОБАВКИ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ ДО ПОВІТРЯНОГО ЗАРЯДУ НА ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Використання водневмісного газу поліпшує паливну економічність двигуна. Для визначення її величини проведені експериментальні дослідження. За результатами цих досліджень отримані поліноміальні моделі. Вони дають змогу математично моделювати роботу двигуна з використанням різних відсоткових добавок водневмісного газу та аналізувати зміну параметрів його роботи. Адекватність математичних моделей перевірена шляхом співставлення отриманих розрахункових значень із значеннями показників роботи двигуна, отриманими в ході експериментальних досліджень. Для оцінки показників роботи двигуна доцільно враховувати енергію затрачену на отримання водневмісного газу та енергію, яка отримується внаслідок горіння водневмісного газу в циліндрі двигуна.

Ключові слова: двигун з іскровим запалюванням, паливна економічність, факторний експеримент, поліноміальні залежності.

Вступ. Обмежена кількість запасів вуглеводневих палив змушує проводити постійний пошук альтернативних палив або високоенергетичних добавок до вже існуючих вуглеводневих палив, аби забезпечити більш повне їх вигорання в циліндрах двигуна. Однією з добавок є водень, але зберігання його на борту автомобіля підвищує вибухо- та пожежонебезпечність. Тому, ведуться роботи по отриманню його прямо на борту автомобіля. На сьогодні це можливо в двох способах, або тепловою конверсією метану з утворенням синтез-газу, або електролізом водного розчину лугу, внаслідок чого отримується так званий «Brawn's Gas» - суміш водню і кисню[1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Національному транспортному університеті ведуться дослідження із використання водневмісного газу, як добавки до повітряного заряду в двигунах з іскровим запалюванням з карбюраторною системою живлення та з системою розподіленого впорскування палива зі зворотнім зв'язком. В ході цих досліджень було встановлено, що додавання різних відсоткових значень по відношенню до бензину має різний вплив на паливну економічність та екологічні показники двигуна. Так було встановлено, що величина добавки більше 10 % на двигуні з розподіленою системою впорскування та зворотнім зв'язком призводить до погіршення паливної економічності. Одночасно з цим через надмірне зростання температури в циліндрі спостерігається підвищення концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Мета дослідження. Оцінити величину добавки водневмісного газу до повітряного заряду бензинових двигунів на паливну економічність та екологічні показники двигунів з іскровим запалюванням з використанням математичних моделей.

Виклад основного матеріалу.

На кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету проводяться дослідження, направлені на визначення ефективності додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигунів з іскровим запалюванням з карбюраторною системою живлення (MeM3-245) та системою розподіленого впорскування палива (OPEL C30NE). Після проведення серії випробувань встановлено, що при додаванні різних відсоткових значень добавок водневмісного газу до повітряного заряду паливна економічність, в середньому, в двигунах з карбюраторною системою живлення покращилась на 4-7% [2,3], а з системою розподіленого впорскування – біля 3%.

Для подальшої обробки, аналізу та використання результатів експериментальних досліджень були створені поліноміальні моделі зміни показників роботи двигуна. Для зменшення кількості проведених досліджень був проведений факторний експеримент згідно плану (табл.1). Цей план включав в себе три змінні: процентний вміст добавки водневмісного газу (V_s , %), частота обертання колінчастого вала двигуна (n_0) та розрідження у впускному трубопроводі (Δp_k). Багатофакторний експеримент був проведений на двигуні з іскровим запалюванням та розподіленою системою впорскування палива 649,5/6,98 (OPEL C30NE). Цей двигун обраний для проведення експерименту, оскільки має сучасні системи підтримки стехіометричного складу паливоповітряної суміші. При проведенні випробувань застосовувались електролізери різних типів, які відрізняються, як способом живлення (величиною напруги) так і продуктивністю.



Рисунок 1- Електролізери, що використовувались при експериментальних дослідженнях



Рисунок 2 – Двигун 6Ч9,5/6,98 (OPEL C30NE)

Параметри факторного експерименту: об'єм водневмісного газу, що додавався до повітряного заряду, знаходився в межах від 0 до 7% по масі палива і обраний згідно попередніх випробувань;

межі зміни частоти обертання колінчастого вала та розрідження у впускному трубопроводі були обрані відповідно до режимів руху автомобіля за Європейським їздовим циклом.

Таблиця 1 - План факторного експерименту на двигуні 6Ч 9,5/6,98 (OPEL C30NE)

№ точки	x_1	x_2	x_3	$V_2, \%$ (л/хв)	$n_d,$ хв ⁻¹	$\Delta p_{к2}$ кПа
1	1	1	1	7 (8)	2800	68
2	1	1	-1	7 (10,5)	2800	44
3	1	-1	1	7 (4)	1200	68
4	1	-1	-1	7 (5,8)	1200	44
5	-1	1	1	0	2800	68
6	-1	1	-1	0	2800	44
7	-1	-1	1	0	1200	68
8	-1	-1	-1	0	1200	44
9	0	0	0	3,5 (4)	2000	56
10	1	0	0	7 (8)	2000	56
11	-1	0	0	0	2000	56
12	0	1	0	3,5 (4,7)	2800	56
13	0	-1	0	3,5 (3,5)	1200	56
14	0	0	1	3,5 (3)	2000	68
15	0	0	-1	3,5 (5,5)	2000	44
16	½	0	0	5,25 (6,2)	2000	56
17	-½	0	0	1,75 (2)	2000	56
18	0	½	0	3,5 (5,2)	2400	56
19	0	-½	0	3,5 (3,2)	1600	56
20	0	0	½	3,5 (3,5)	2000	62
21	0	0	-½	3,5 (5)	2000	50

Як видно із табл. 1 в залежності від режиму роботи двигуна кількість водневмісного газу для забезпечення сталої відсоткової добавки різна.

За результатами проведеного факторного експерименту отримані поліноміальні залежності та перевірена їх адекватність порівнянням з даними експерименту.

Як видно з табл. 2 відхилення значень годинної витрати палива та годинної витрати повітря становлять в середньому менше 2%, що говорить про адекватність отриманих поліноміальних залежностей.

Таблиця 2 – Результати проведення факторного експерименту

№	X ₁	X ₂	X ₃	V _{газу} , %	n _д , хв ⁻¹	Δp _к , кПа	M _к , Н·м	G _п , кг/год	G _{пов} , кг/год	G _п , кг/год (розрах.)	G _{пов} , кг/год (розрах.)	ΔG _п , %	ΔG _{пов} , %
1	1	1	1	7	2800	68	8,66	3,61	54,11	3,58	53,54	0,83	1,05
2	1	1	-1	7	2800	44	76,5	7,3	111,48	7,4	112,89	-1,37	-1,26
3	1	-1	1	7	1200	68	2,89	1,34	18,83	1,42	20	-5,97	-6,21
4	1	-1	-1	7	1200	44	65	3,11	44,66	3,05	43,31	1,93	3,02
5	-1	1	1	0	2800	68	7,22	3,87	56,6	3,92	57,98	-1,29	-2,44
6	-1	1	-1	0	2800	44	76,5	7,59	114,53	7,5	113,39	1,19	1,00
7	-1	-1	1	0	1200	68	2,89	1,78	23,96	1,67	22,59	6,18	5,72
8	-1	-1	-1	0	1200	44	56,3	3,04	41,34	3,06	41,95	-0,66	-1,48
9	0	0	0	3,5	2000	56	37,7	3,85	56,75	3,89	57,12	-1,04	-0,65
10	1	0	0	7	2000	56	41,9	3,93	57,17	3,86	56,77	1,78	0,70
11	-1	0	0	0	2000	56	36,8	3,93	57,85	4,03	58,3	-2,54	-0,78
12	0	1	0	3,5	2800	56	44,8	5,63	85,17	5,61	84,57	0,36	0,70
13	0	-1	0	3,5	1200	56	30,3	2,23	31,55	2,31	32,08	-3,59	-1,68
14	0	0	1	3,5	2000	68	8,66	2,52	37,43	2,52	36,91	0,00	1,39
15	0	0	-1	3,5	2000	44	73,7	5,11	76,16	5,13	76,27	-0,39	-0,14
16	½	0	0	5,25	2000	56	39	3,92	57,58	3,86	56,84	1,53	1,29
17	-½	0	0	1,75	2000	56	37,5	3,91	57,70	3,95	57,61	-1,02	0,16
18	0	½	0	3,5	2400	56	39	4,81	71,59	4,74	70,55	1,46	1,45
19	0	-½	0	3,5	1600	56	40,4	3,17	43,58	3,09	44,3	2,52	-1,65
20	0	0	½	3,5	2000	62	20,2	3,23	47,08	3,23	47,15	0,00	-0,15
21	0	0	-½	3,5	2000	50	54,9	4,48	65,86	4,53	66,83	-1,12	-1,47

Згідно значень, отриманих під час експериментального дослідження, були визначені поліноміальні моделі третього степеня від трьох незалежних змінних: годинної витрати палива(G_п), годинної витрати повітря(G_{пов}), крутного моменту(M_к), оксиду вуглецю(CO), діоксиду вуглецю(CO₂), вуглеводнів(C_mH_n), оксидів азоту(NO_x).

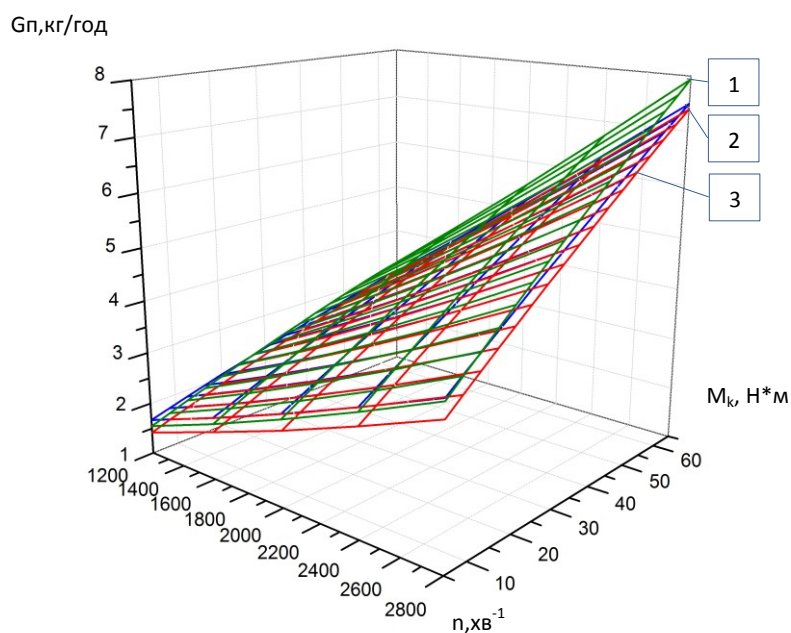
$$A_3^3 = a_0 + a_1 \cdot V_{\%} + a_2 \cdot n_{д} + a_3 \cdot \Delta + a_{11} \cdot V_{\%}^2 + a_{22} \cdot n_{д}^2 + a_{33} \cdot \Delta^3 +$$

$$+ a_{12} \cdot V_{\%} \cdot n_{д} + a_{13} \cdot V_{\%} \cdot \Delta + a_{23} \cdot n_{д} \cdot \Delta + a_{111} \cdot V_{\%}^3 + a_{222} \cdot n_{д}^3 +$$

$$+ a_{333} \cdot \Delta^3 + a_{112} \cdot V_{\%}^2 \cdot n_{д} + a_{113} \cdot V_{\%}^2 \cdot \Delta + a_{122} \cdot V_{\%} \cdot n_{д}^2 +$$

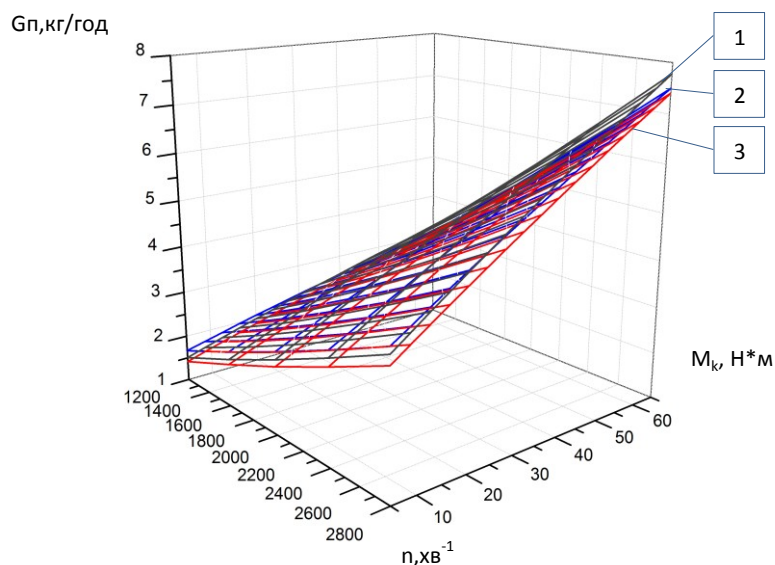
$$+ a_{223} \cdot n_{д}^2 \cdot \Delta + a_{133} \cdot V_{\%} \cdot \Delta^3 + a_{233} \cdot n_{д} \cdot \Delta^3 + a_{123} \cdot V_{\%} \cdot n_{д} \cdot \Delta$$

Для прикладу, за поліноміальними моделями побудовано поверхні зміни годинної витрати палива у середовищі Origin 8 (рис.3, рис.4), які дають змогу визначити вплив величина добавки водневмісного газу на годинну витрату палива в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна та величини крутного моменту.



- 1- годинна витрата палива із врахуванням затрат на отримання водневмісного газу;
- 2- годинна витрата палива без використання добавки водневмісного газу;
- 3- годинна витрата палива з використанням 7% добавки водневмісного газу.

Рисунок 3 – Залежність зміни годинної витрати палива від частоти обертання колінчастого вала та крутного моменту двигуна з врахуванням затрат на отримання водневмісного газу.



- 1- годинна витрата палива із врахуванням енергії, що виділилась при горінні водневмісного газу;
- 2- годинна витрата палива без використання добавки водневмісного газу;
- 3- годинна витрата палива з використанням 7% добавки водневмісного газу.

Рисунок 4 - Залежність зміни годинної витрати палива від частоти обертання колінчастого вала та крутного моменту двигуна з врахуванням теплоти, яка виділяється водневмісним газом.

Залежність годинної витрати палива від частоти обертання колінчастого вала та крутного моменту представлена у вигляді поверхонь, які були отримані при проведенні розрахунків з використанням поліноміальних моделей. Поверхня 2 (рис.3) характеризує годинну витрату палива в залежності від частоти обертання колінчастого вала та крутного моменту при роботі двигуна на чистому бензині, поверхня 3 характеризує годинну витрату палива при використанні 7% добавки водневмісного газу. З рис. 3 видно, що в залежності від частоти обертання та крутного моменту

зниження витрати палива змінюється в межах 0,5-15%. Поверхня 1 характеризує годинну витрату палива при врахуванні затрат на отримання водневмісного газу. Затрати енергії на отримання необхідної кількості водневмісного газу, були представлені у вигляді необхідної кількості палива, яку потрібно спалити для отримання аналогічної кількості енергії. З рис. 3 видно, що на режимах роботи двигуна в діапазоні частот обертання колінчастого вала від 1600 до 2800 хв⁻¹ та навантаженні від 37 Н*м використання водневмісного газу призводить до погіршення паливної економічності. Це викликано затратами енергії на отримання водневмісного газу.

При порівнянні впливу добавки водневмісного газу на паливну економічність слід враховувати не тільки енергію, яка була затрачена на отримання водневмісного газу, але і енергію, яка виділяється в результаті його горіння в циліндрі. Виходячи із розрахункової кількості водню у водневмісному газі, отримано його теплоту згоряння. Ця теплота була визначена з необхідної кількості бензину для отримання аналогічної кількості теплоти (рис.4). Із врахуванням затрат енергії на отримання водневмісного газу та енергії, що виділилась при його спалюванні, діапазон ефективного використання водневмісного газу ширший і становить по частоті обертання колінчастого вала – 1200-2400 хв⁻¹ та за навантаженням від 3 до 60 Н*м. Отже, використання добавок в межах 3-4% є найбільш оптимальним для даного двигуна.

Висновок. Використання водневмісного газу знижує годинну витрату палива, проте із врахування затрат на його отримання ефективність знижується. Отримані поліноміальні залежності будуть використані при визначенні годинної витрати палива при русі автомобіля в умовах Європейського їздового циклу.

1. В.М. Фомин, Р.Р. Хакимов, Д.В. Шевченко Водород как химический реагент в кинетическом механизме образования углерода в дизеле / Международный научно-технический журнал «Транспортная альтернативное топливо» - № 3 (21) - 2011 г.- с.10-14

2. Гутаревич Ю.Ф. Вплив додавання суміші водню з киснем на паливну економічність і токсичність бензинового двигуна в режимі холостого ходу. / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корпач, Є.В. Шуба, О. Д. Філоненко, І. В. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2014. –Вип. 29. <http://www.ntu.edu.ua>

3. Гутаревич Ю.Ф. Використання добавки водневмісного газу до повітряного заряду для покращення показників двигунів з карбюраторною системою живлення в режимах холостого ходу. / Ю. Ф. Гутаревич, Є.В. Шуба // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2015. –Вип. 30. <http://www.ntu.edu.ua>

REFERENCES

1. V.M. Fomin, RR Hakymov, DV As Shevchenko hydrogen himicheskij reagent in kynetycheskom mehanyzme education in carbon diesel / Mezhdunarodny'j scientific-technical journal «Transport Alternative Fuel» - № 3 (21) - 2011 h.- s.10-14

2. Gutarevych Yu.F. Vplyv adding a mixture of hydrogen and oxygen to fuel efficiency and toxicity petrol engine idling. / YF Gutarevych, AO Korpach EV Shuba, AD Filonenko, IV Samoilenko // Proceedings of the National Transport University. - K., NTU, 2014. -Vyp. 29. [http // www.ntu.edu.ua](http://www.ntu.edu.ua)

3. Gutarevych YF The use of additives vodnevemisnoho gas to air charge for improvement of engines carburettor system power when idling. / YF Gutarevych EV Shuba // Proceedings of the National Transport University. - K., NTU, 2015. -Vyp. 30. [http // www.ntu.edu.ua](http://www.ntu.edu.ua)

Гутаревич Ю. Ф., Говорун А. Г., Корпач А. А., Філоненко А. Д. Влияние добавки водородосодержащего газа к воздушному заряду на показатели двигателя с искровым зажиганием

Использование водородосодержащих газа улучшает топливную экономичность. Для определения ее величины проведены экспериментальные исследования. По результатам этих исследований описаны полиномиальные модели. Они позволяют математически моделировать работу двигателя с использованием различных процентных добавок водородосодержащих газа и изменением параметров его работы. Адекватность математических моделей проверена путем сопоставления полученных расчетных значений со значениями показателей работы двигателя, полученными в ходе экспериментальных исследований. Для полноценной оценки изменения показателей работы двигателя следует учитывать энергию затрачиваемую на получение водородосодержащих газа и энергия, получаемая в результате горения водородосодержащих газа в цилиндре.

Ключевые слова: двигатель с искровым зажиганием, топливная экономичность, факторный эксперимент, полиномиальные зависимости

Yu. Gutarevych, A. Govorun, A. Korpach, A. Filonenko. Influence of additives hydrogen-containing gas to the air charge in the figures spark ignition engine

Use hydrogen-containing gas improves fuel economy. For its determination of the value of experimental research conducted. The results of these studies are described polynomial model. They allow to mathematically simulate the engine using different interest additives hydrogen-containing gas and changing the parameters of its work. The adequacy of mathematical models is tested by comparing calculated values obtained with the values of the engine parameters obtained in the experimental studies. For a complete evaluation of changes of the engine should take into account the energy spent on getting hydrogen-containing gas and energy is derived from burning hydrogen-containing gas in cylinder.

Keywords: spark ignition engine, fuel economy, factorial experiment, polynomial dependence

АВТОРИ:

ГУТАРЕВИЧ Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет.

ГОВОРУН Анатолій Григорович, кандидат технічних наук, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет.

КОРПАЧ Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет.

ФІЛОНЕНКО Олександр Дмитрович, аспірант кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет.

AUTHORS:

Yuri GUTAREVYCH, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of "Engines and Heating Engineering", National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Anatoly GOVORUN, Ph.D. in Engineering, Professor of "Engines and Heating Engineering", National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Anatoly KORPACH, Ph.D. in Engineering, Professor of "Engines and Heating Engineering", National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Alexander FILONENKO, Postgraduate student of "Engines and Heating Engineering", National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 11.09.2015 р.