

УДК 621.436:665.75  
UDC 621.436:665.75

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ НА ПОКАЗНИКИ  
ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Філоненко О.Д., Національний транспортний університет, Київ, Україна

MATHEMATICAL MODELING OF INFLUENCE HYDROGEN-CONTAINING GAS ON  
INDICATORS OF ENGINE WITH SPARK IGNITION

Filonenko O.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА  
НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Филоненко А.Д., Национальный транспортный университет, Киев, Украина.

**Вступ.** На сьогоднішній день через значне зростання кількості автомобільного транспорту в світі гостро постають дві проблеми: це зменшення світових запасів викопних вуглеводневих палив та високий рівень забруднення, спричинений їх використанням. Задля зменшення екологічного навантаження постійно ведуться розробки нових та вдосконалення, вже існуючих, енергоустановок автомобільного транспорту, які мають вищі паливно-економічні характеристики та кращі екологічні показники.

На разі повністю відмовитись від використання вуглеводневих палив, як основного енергоносія, для автомобільного транспорту, - неможливо. Проте роботи, що направлені на зменшення їх відсоткового значення у загальному вжитку, зокрема створення гібридних силових установок, електротягових та енергоустановок, що працюють на водні, набувають все більшого розповсюдження.

**Постановка проблеми.** Актуальність питання про використання водневмісного газу, як продукту гідролізу водного розчину лугу, на сьогоднішній день досить висока, адже прогнозування його впливу на показники паливної економічності та екологічні показники двигунів з іскровим запалюванням дадуть змогу визначити межі їх зміни.

**Мета роботи** – визначення залежностей зміни показників паливної економічності та екологічних показників двигунів з іскровим запалюванням при додаванні різної відсоткової добавки водневмісного газу.

**Основна частина.**

Водень, як моторне паливо, в порівнянні із вуглеводневими паливами має значно вищу нижчу теплоту згорання, енергію запалювання майже в 10 разів нижчу, майже втричі вищу швидкість горіння і межі запалювання з коефіцієнтом надміру повітря від 0,15 до 10, проте є менш стабільним [1]. Оскільки зберігання водню, в чистому вигляді, на борту автомобіля має цілий ряд складностей, а існуючі способи малоефективні [2], тому досить популярними є установки здатні продукувати водневмісні сполуки прямо на борту автомобіля. Це може бути або теплова конверсія метану, або електроліз водного розчину лугу[3].

В Національному транспортному університеті досліджується ефективність додавання водневмісного газу, як продукту електролізу 10% водного розчину лугу КОН, до повітряного заряду двигунів з іскровим запалюванням на двигунах з карбюраторною системою живлення (MeM3-245) та системою розподіленого впорскування палива (OPEL C30NE). За результатами серії випробувань встановлено, що додавання різних відсоткових значень добавок водневмісного газу до повітряного заряду покращує паливну економічність в середньому на двигунах з карбюраторною системою живлення покращилась на 4-7% [4,5], на двигунах із системою розподіленого впорскування вона покращилась на 3% [6].

Для описання двигуна внутрішнього згорання, як споживача палива, повітря та відпрацьованих газів, були створені поліноміальні залежності зміни показників роботи двигуна з іскровим запалюванням та зворотнім зв'язком 6Ч 9,5/6,98 (OPEL C30NE). Даний тип двигуна був обраний, тому що має сучасні системи підтримання стехіометричного складу суміші. Для оптимізації досліджень

був створений план факторного експерименту (табл.1), який в подальшому застосовувався для визначення зміни показників роботи двигуна. План був складений з врахуванням трьох змінних: : процентний вміст добавки водневмісного газу ( $V_{\%}$ ), частота обертання колінчастого вала двигуна ( $n_d$ ) та розрідження у впускному трубопроводі ( $\Delta p_k$ ).

Значення змінних були вибрані відповідно до величин, що використовуються у математичній моделі руху автомобіля за Європейським їздовим циклом (частота обертання колінчастого вала двигуна ( $n_d$ ) та розрідження у впускному трубопроводі ( $\Delta p_k$ ) та за результатами попередніх випробувань (значення відсоткової величини добавки водневмісного газу). Оскільки значення відсоткової величини добавки водневмісного газу прирівнювалось до маси палива, то і об’єм подачі водневмісного газу у контрольних точках теж різний. Він наведений у плані факторного експерименту.

Визначення величини об’єму водневмісного газу, що використовується при кожному режимі, дає змогу визначити затрати на його продукування та аналізувати його вплив на паливну економічність не тільки в цілому, але і в кожній окремій точці. В подальшому ці дані стануть рекомендаціями при розробці програмного забезпечення системи продукування та подачі водневмісного газу. Приріст потужності має майже лінійну залежність приросту відповідно до збільшення величини відсоткової добавки водневмісного газу у всьому діапазоні частот обертання двигуна та розрідження у впускному колекторі, що використовувались в ході експерименту.

За результатами експерименту були сформовані поліноміальні залежності показників роботи двигуна. Поліномом від трьох незалежних змінних третього степеня були описані концентрації у відпрацьованих газах (ВГ) оксидів азоту та оксиду вуглецю (1),

$$A_3^3 = a_0 + a_1 \cdot V_{\%} + a_2 \cdot n_d + a_3 \cdot \Delta p_k + a_{11} \cdot V_{\%}^2 + a_{22} \cdot n_d^2 + a_{33} \cdot \Delta p_k^2 + a_{12} \cdot V_{\%} \cdot n_d + a_{13} \cdot V_{\%} \cdot \Delta p_k + a_{23} \cdot n_d \cdot \Delta p_k + a_{111} \cdot V_{\%}^3 + a_{222} \cdot n_d^3 + a_{333} \cdot \Delta p_k^3 + a_{112} \cdot V_{\%}^2 \cdot n_d + a_{113} \cdot V_{\%}^2 \cdot \Delta p_k + a_{122} \cdot V_{\%} \cdot n_d^2 + a_{223} \cdot n_d^2 \cdot \Delta p_k + a_{133} \cdot V_{\%} \cdot \Delta p_k^2 + a_{233} \cdot n_d \cdot \Delta p_k^2 + a_{123} \cdot V_{\%} \cdot n_d \cdot \Delta p_k \quad (1)$$

годинні витрати палива та повітря, концентрації у ВГ діоксиду вуглецю та вуглеводнів описані поліномом від трьох незалежних змінних другого степеня (2).

$$A_3^2 = a_0 + a_1 \cdot V_{\%} + a_2 \cdot n_d + a_3 \cdot \Delta p_k + a_{11} \cdot V_{\%}^2 + a_{22} \cdot n_d^2 + a_{33} \cdot \Delta p_k^2 + a_{12} \cdot V_{\%} \cdot n_d + a_{13} \cdot V_{\%} \cdot \Delta p_k + a_{23} \cdot n_d \cdot \Delta p_k \quad (2)$$

Таблиця 1 – Результати проведення факторного експерименту

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	V <sub>газу</sub> , %	n <sub>д</sub> , хв <sup>-1</sup>	Δp <sub>к</sub> , кПа	M <sub>к</sub> , Н·м	G <sub>п</sub> , кг/год	G <sub>пов</sub> , кг/год	t <sub>ох</sub> , °C	t <sub>вг</sub> , °C	α
1	1	1	1	7	2800	68	8,66	3,61	54,11	97	475	0,98
2	1	1	-1	7	2800	44	76,5	7,3	111,48	97	530	0,98
3	1	-1	1	7	1200	68	2,89	1,34	18,83	96	300	0,99
4	1	-1	-1	7	1200	44	65	3,11	44,66	84	320	0,99
5	-1	1	1	0	2800	68	7,22	3,87	56,6	94	440	0,98
6	-1	1	-1	0	2800	44	76,5	7,59	114,53	96	518	0,99
7	-1	-1	1	0	1200	68	2,89	1,78	23,96	85	235	0,99
8	-1	-1	-1	0	1200	44	56,3	3,04	41,34	92	330	0,99
9	0	0	0	3,5	2000	56	37,7	3,85	56,75	97	450	0,99
10	1	0	0	7	2000	56	41,9	3,93	57,17	94	440	0,99

Продовження таблиці 1

11	-1	0	0	0	2000	56	36,8	3,93	57,85	93	380	0,99
12	0	1	0	3,5	2800	56	44,8	5,63	85,17	96	525	0,99
13	0	-1	0	3,5	1200	56	30,3	2,23	31,55	90	332	0,99
14	0	0	1	3,5	2000	68	8,66	2,52	37,43	96	370	0,99
15	0	0	-1	3,5	2000	44	73,7	5,11	76,16	96	460	0,98
16	½	0	0	5,25	2000	56	39	3,92	57,58	86	440	0,99
17	-½	0	0	1,75	2000	56	37,5	3,91	57,70	97	440	0,99
18	0	½	0	3,5	2400	56	39	4,81	71,59	90	480	0,99
19	0	-½	0	3,5	1600	56	40,4	3,17	43,58	86	405	0,99
20	0	0	½	3,5	2000	62	20,2	3,23	47,08	85	420	0,99
21	0	0	-½	3,5	2000	50	54,9	4,48	65,86	96	455	0,99

Як видно з табл.1 додавання водневмісного газу призводить до підвищення потужності майже по всьому діапазону частот обертання колінчастого вала двигуна, хоча більш виражений характер приросту зафіксований на низьких частотах обертання. Одночасно з цим слід відмітити зниження годинної витрати палива, що свідчить про покращення процесів згоряння палива всередині циліндра. Зниження годинної витрати повітря можна пояснити частковим заміщенням об'єму повітряного заряду об'ємом водневмісного газу, що подавався в циліндри двигуна.

Поліноміальні залежності, що отримані за результатами експерименту, використовуються у обчисленнях математичної моделі руху автомобіля за Європейським їздовим циклом, з метою оптимізації використання водневмісного газу на різних ділянках циклу.

**Висновок.** Використання водневмісних сполук є одним з ефективних способів покращення паливної економічності та екологічних показників роботи двигунів з іскровим запалюванням. Однак через те, що ефективність використання добавок має обмеження, тому для їх оптимального використання слід враховувати режим роботи двигуна. Для більшої достовірності розрахункових значень варто також враховувати затрати на отримання необхідної кількості газу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бахман Н.Н., Біляев А.Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. - М.:Наука, 1967.Глава 1
2. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та ін.. Екологія та автомобільний транспорт. Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2008. – 296с.
3. В.М. Фомин, Р.Р. Хакимов, Д.В. Шевченко Водород как химический реагент в кинетическом механизме образования углерода в дизеле / Международный научно-технический журнал «Транспортна альтернативном топливе» - № 3 (21) - 2011 г.- с.10-14
4. 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>
5. 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>
6. Гутаревич Ю. Ф., Корпач А.А., Карев С.В., Філоненко О.Д., Шуба Є.В. Ефективність добавки водневмісного газу до повітряного заряду бензинових двигунів.

REFERENCES

1. Bachmann N.N., Bilyaev A.F. Combustion of heterogeneous condensed systems. - M.: Nauka, 1967. Chapter 1
2. Gutarevich Y.F., Zerkalov D.V. & other. Ekologiya avtomobilny transport. Navchalna posibnik 2-n species., Pereroblene that dopovnene. - K.: Aristey 2008. – 296p.
3. Fomin V.M., Hakymov R.R., Shevchenko D.V. Hydrogen chemical reactant in kinetical mechanism of forming of carbon in diesel / International Scientific and Technical Journal "Transport Alternative Fuel» - № 3 (21) - 2011 g - p.10-14
4. 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)
5. Gutarevych YF The use of additives vodnevnisnoho 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)
6. Gutarevych Y.F., Korpach A.A., Karev S.V., Filonenko A.D., Shuba E.V. Efficiency of additives hydrogenincluding gas to gasoline engine air charge

РЕФЕРАТ

Філоненко О.Д. Математичне моделювання впливу водневмісного газу на показники двигуна з іскровим запалюванням / О.Д. Філоненко // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 2 (35).

В статті проаналізовано дані факторного експерименту, метою якого було визначення впливу добавки водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням на показники його роботи.

Мета роботи – визначення залежностей зміни показників паливної економічності та екологічних показників двигунів з іскровим запалюванням при додаванні різної відсоткової добавки водневмісного газу.

Метод дослідження – аналіз результатів експериментальних досліджень двигуна з іскровим запалюванням.

Проаналізовано можливість використання водневмісного газу, як добавки до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням. Наведено залежності зміни показників його роботи, які отримані в результаті проведення факторного експерименту. Факторний експеримент використаний, як інструмент оптимізації досліджень. На основі отриманих результатів було визначено поліноміальні моделі, що описують годинні витрати палива і повітря та концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Результати висвітлені у статті можуть бути використані під час роботи з математичними моделями руху автомобіля за Європейським їздовим циклом та визначення оптимальності використання водневмісного газу в різних режимах роботи двигуна.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДВИГУНИ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ФАКТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ

ABSTRACT

Filonenko O.D. Mathematical modeling of influence hydrogen-containing gas on indicators of engine with spark ignition. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2016. – Issue 2 (35).

The paper analyzes data factorial experiment whose purpose was to determine the effect of additives hydrogen-containing gas to the air charge of the engine with spark ignition at the performance of his work. Purpose - to determine dependency changes of fuel efficiency and environmental performance of engines with spark ignition while adding various additives interest hydrogen-containing gas. The method of research - analysis of experimental research engine with spark ignition. The possibility use of hydrogen-containing gas as a supplement to air charge of the engine with spark ignition. Dependences of changes of his work, received as a result of factorial experiment. Factorial design used as a tool of optimization studies. Based on the results it was determined polynomial model describing the hourly cost of fuel and air and the concentration of harmful substances in exhaust gases. Results highlighted in the article can be used when working with mathematical models of vehicle movement

on the European driving cycle and determine the optimal use of hydrogen-containing gas to different modes of engine operation.

KEY WORDS: ENGINES WITH SPARK IGNITION, FACTORIAL EXPERIMENT, MATHEMATICAL MODEL, FUEL ECONOMY

#### РЕФЕРАТ

Филоненко А.Д. Математическое моделирование влияния водородсодержащего газа на показатели двигателя с искровым зажиганием / А.Д. Филоненко // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2016. – Вып. 2 (35).

В статье проанализированы данные факторного эксперимента, целью которого было определение влияния добавки водородсодержащих газа в воздушного заряда двигателя с искровым зажиганием на показатели его работы.

Цель работы - определение зависимостей изменения показателей топливной экономичности и экологических показателей двигателей с искровым зажиганием при добавлении различных процентной добавки водородсодержащих газа.

Метод исследования - анализ результатов экспериментальных исследований двигателя с искровым зажиганием.

Проанализирована возможность использования водородсодержащих газа, в качестве добавок к воздушному заряду двигателя с искровым зажиганием. Приведены зависимости изменения показателей его работы, полученные в результате проведения факторного эксперимента. Факторный эксперимент использован как инструмент оптимизации исследований. На основе полученных результатов были определены полиномиальные модели, описывающие часовые расходы топлива и воздуха и концентрации вредных веществ в отработанных газах.

Результаты освещены в статье могут быть использованы при работе с математическими моделями движения автомобиля по Европейским ездовым циклом и определения оптимальности использования водородсодержащих газа в различных режимах работы двигателя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛИ С ИСКРОВИМ ЗАЖИГАНИЯ, ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

#### АВТОРИ:

Філоненко Олександр Дмитрович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри «Двигунів і теплотехніки», e-mail: charone@ukr.net, тел. +380936405226, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1.

#### AUTHORS:

Filonenko Oleksandr Dmytrovich, National transport university, postgraduate department of "Motors and heating», e-mail: charone@ukr.net. +3800936405226, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov str. 1.

#### АВТОРЫ:

Филоненко Александр Дмитриевич, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры «Двигателей и теплотехники», e-mail: charone@ukr.net, тел. +380936405226, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, професор кафедри автомобілі та автомобільне господарство, Житомир, Україна

#### REVIEWER:

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobile, Kyiv, Ukraine.

Kravchenko A.P., Doctor of Technical Science, Professor, Zhytomyr Stste Tehnological University, Professor Departments Automobiles and Automobile Industry, Zhytomyr, Ukraine.