

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА HYTHANE НА ДАВЛЕНИЕ
В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ****А.П. Шайкин, И.Р. Галиев*Тольяттинский государственный университет
д. 14, ул. Белорусская, Тольятти, 445667, Россия
тел.: +7(927)613-54-95; e-mail:sbs777@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.36-42

Заключение совета рецензентов: 01.03.19 Заключение совета экспертов: 12.03.19 Принято к публикации: 21.03.19

Анализировалось влияние химического состава композитного топлива hythane (смеси природного газа с водородом) на давление в камере сгорания двигателя. Обзор литературы показал актуальность использования hythane в транспортной энергетике, а также выявил научные работы, посвященные изучению влияния hythane на экологические и тягово-динамические характеристики двигателя. Собственные исследования проводились на одноцилиндровом двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием. Варьируемыми факторами в экспериментах являлись: частота вращения коленчатого вала двигателя (600 мин^{-1} и 900 мин^{-1}), коэффициент избытка воздуха и концентрация водорода в природном газе, составляющая 29 %, 47 % и 58% (по объему). Показано, что в режиме холостого хода и близким к нему частотам вращения коленчатого вала двигателя максимальное давление в камере сгорания зависит от коэффициента избытка воздуха и доли водорода в топливовоздушной смеси – чем беднее топливовоздушная смесь и выше содержание водорода, тем интенсивнее рост давления. Позитивное влияние водорода на давление объясняется тем, что добавление водорода способствует увеличению теплоты сгорания топлива и скорости распространения пламени. В результате при сгорании выделяется больше тепла, а само топливо сгорает в меньшем объеме. Установлено, что добавление водорода может обеспечить устойчивое сгорание бедной топливовоздушной смеси без потерь мощности двигателя. Кроме того, показано, что несмотря на изменение скоростного режима двигателя, количества добавленного водорода, коэффициента избытка воздуха, вида топлива (природный газ и бензин) сохраняется степенная зависимость максимального давления в цилиндре двигателя от объема камеры сгорания. Обработка и анализ результатов зарубежных и отечественных исследований продемонстрировали, что выявленные авторами данной статьи закономерности применимы для двигателей разных конструкций, работающих в разных скоростных режимах и использующих разное углеводородное топливо. Представленные результаты исследования позволяют сократить временные и материальные затраты при создании новых энергетических установок, использующих hythane и соответствующих современным требованиям по мощности, экономичности и токсичности.

Ключевые слова: hythane; водород; природный газ; давление; горение; энергоэффективность; двигатель внутреннего сгорания.

**EFFECT OF CHEMICAL HYTHANE COMPOSITION
ON PRESSURE IN COMBUSTION CHAMBER OF ENGINE***A.P. Shaikin, I.R. Galiev*Togliatti State University
14Belorusskaya Str., Togliatti, 445667, Russia
tel.: +7 (927) 613 54 95, e-mail: sbs777@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.36-42

Referred 1 March 2019 Received in revised form 12March 2019 Accepted 21March 2019

The article analyzes the influence of chemical composition of hythane (a mixture of natural gas with hydrogen) on pressure in an engine combustion chamber. A review of the literature has showed the relevance of using hythane in transport energy industry, and also revealed a number of scientific papers devoted to studying the effect of hythane on envi-

*Шайкин А.П., Галиев И.Р. Влияние химического состава hythane на давление в камере сгорания двигателя // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;10-12:36-42.



ronmental and traction-dynamic characteristics of the engine. We have studied a single-cylinder spark-ignited internal combustion engine. In the experiments, the varying factors are: engine speed (600 and 900 min⁻¹), excess air ratio and hydrogen concentration in natural gas which are 29, 47 and 58% (volume). The article shows that at idling engine speed maximum pressure in combustion chamber depends on excess air ratio and proportion hydrogen in the air-fuel mixture – the poorer air-fuel mixture and greater addition of hydrogen is, the more intense pressure increases. The positive effect of hydrogen on pressure is explained by the fact that addition of hydrogen contributes to increase in heat of combustion fuel and rate propagation of the flame. As a result, during combustion, more heat is released, and the fuel itself burns in a smaller volume. Thus, the addition of hydrogen can ensure stable combustion of a lean air-fuel mixture without loss of engine power. Moreover, the article shows that, despite the change in engine speed, addition of hydrogen, excess air ratio, type of fuel (natural gas and gasoline), there is a power-law dependence of the maximum pressure in engine cylinder on combustion chamber volume. Processing and analysis of the results of the foreign and domestic researchers have showed that patterns we discovered are applicable to engines of different designs, operating at different speeds and using different hydrocarbon fuels. The results research presented allow us to reduce the time and material costs when creating new power plants using hythane and meeting modern requirements for power, economy and toxicity.

Keywords: hythane; hydrogen; natural gas; pressure; combustion; energy efficiency; internal combustion engine.



Александр Петрович Шайкин
Alexander Shaikin

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, Тольяттинский государственный университет.

Образование: Казанский авиационный институт (1967 г.).

Область научных интересов: водородная энергетика; энергосбережение; экология; физика горения.

Публикации: 251.
h-index: 9

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor, Togliatti State University.

Education: Kazan Aviation Institute, 1967.

Research interests: hydrogen energy; energy saving; ecology; combustion physics.

Publications: 251.



Ильдар Ринатович Галиев
Ildar Galiev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, Тольяттинский государственный университет.

Образование: Тольяттинский государственный университет (2010 г.).

Область научных интересов: водородная энергетика; энергосбережение; экология; физика горения.

Публикации: 52.
h-index: 4

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Togliatti State University.

Education: Togliatti State University, 2010.

Research interests: hydrogen energy; energy saving; ecology; combustion physics.

Publications: 52.

1. Введение

В связи с постоянным ростом цен на топливо и законодательным ужесточением норм по концентрации токсичных компонентов в выхлопных газах двигателей, вопросы дальнейшего улучшения экологических и энергетических характеристик этих двигателей остаются актуальными [1]. Одним из наиболее быстро реализуемых способов решения данной проблемы является использование композитных видов топлива [2, 3]. В последние два десятилетия ученые и инженеры ведущих стран мира (США, Англия, Германия, Китай, Россия и т.д.) уделяют большое внимание новому топливу hythane – смеси природного газа с водородом [4–6], поскольку использование hythane способствует значительному снижению токсичности выхлопа двигателя [7, 8] и повышению его тягово-динамических показателей [9, 10].

Для создания новых малоэмиссионных и энергоэффективных камер сгорания (КС), использующих hythane, необходимо глубокое изучение процесса сгорания композитного топлива, в том числе при работе двигателя в режиме холостого хода и близким к нему частотам вращения коленчатого вала. Известно, что при движении автомобиля в городском цикле время работы двигателя при таких режимах составляет 27% от общей продолжительности поездки [11], а эксперименты [12, 13] показали, что именно на холостом ходу концентрация токсичных веществ в отработавших газах имеет максимальные значения. В настоящее время мало изучено влияние химического состава hythane на максимальное давление в КС в условиях работы двигателя на холостом ходу.

Впервые было изучено влияния химического состава hythane на максимальное давление в камере сгорания при работе поршневого двигателя в режиме холостого хода и близким к нему частотам вращения



коленчатого вала. Полученные результаты будут востребованы при проектировании и модернизации энергоэффективных и малоэмиссионных камер сго-

рания двигателей, использующих *hythane* и соответствующих современным требованиям по мощности, экономичности и токсичности.

Список обозначений	
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
α	Коэффициент избытка воздуха
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
G	Расход топлива, кг/ч
l	Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг
N	Частота вращения коленчатого вала двигателя
P	Максимальное давление в камере сгорания
r	Объёмная доля, МПа
V	Объём камеры сгорания, соответствующий моменту достижения максимального давления, м ³
x	Текущее значение коэффициента избытка воздуха, мин ⁻¹
<u>Индексы нижние</u>	
a	Воздух
h	Водород
ng	Природный газ
rel	Относительные величины
<u>Аббревиатуры</u>	
КС	Камера сгорания
ТВС	Топливовоздушная смесь

2. Экспериментальная часть

Эксперименты проводились на моторной установке с искровым зажиганием (рис. 1а). Основными элементами установки являются четырехтактный одноцилиндровый поршневой двигатель и электродвигатель, обеспечивающий требуемые условиям эксперимента обороты коленчатого вала двигателя. Положительными качествами моторной установки являются: 1) низкая межцикловая неидентичность; 2) возможность регулирования неза-

висимо друг от друга параметров работы двигателя (например, состав топливовоздушной смеси, степень сжатия, обороты коленчатого вала двигателя, температуру топлива и т.д.). Эти особенности конструкции дают возможность точно повторять режимы испытаний и определять воздействие конкретного фактора на максимальное давление в камере сгорания. Для проведения исследований экспериментальная установка была оборудована дополнительной системой питания природным газом и водородом (рис. 1б).

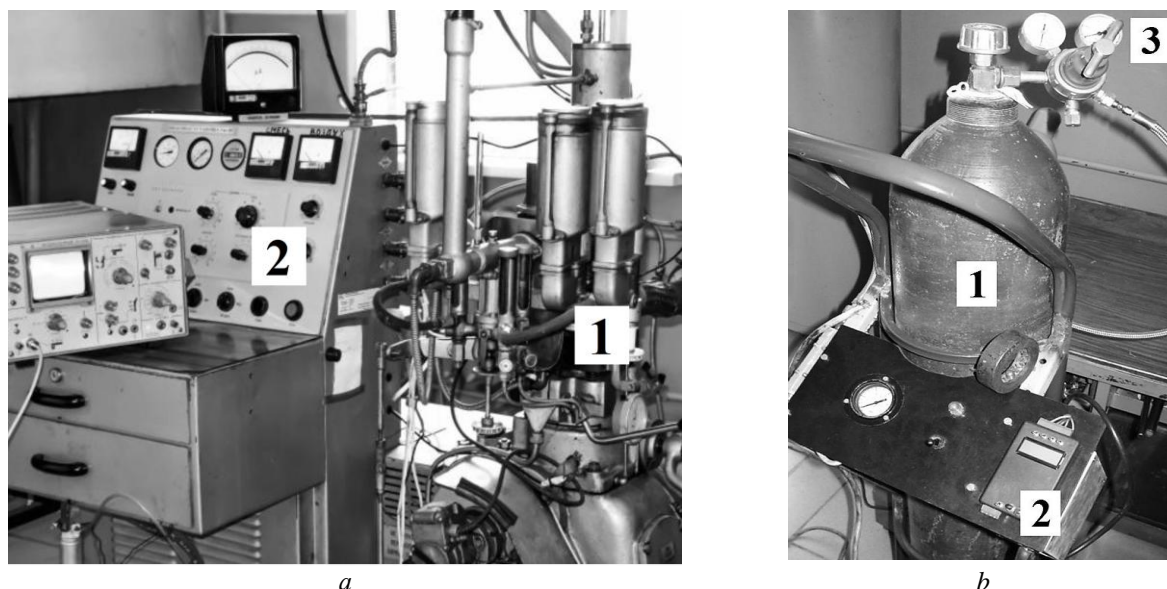


Рис. 1 –Экспериментальный стенд: а –моторная установка: 1 – двигатель внутреннего сгорания, 2 – пульт управления; б – система подачи водорода в двигатель: 1 – баллон с водородом, 2 – блок управления форсунками, 3 – манометры

Fig. 1 –Experimental stand: a –engine installation: 1 – internal combustion engine, 2 – unit control panel; b – hydrogen supply system to the engine: 1– hydrogen tank, 2– injector control unit, 3– pressure gauges

Методика эксперимента заключалась в параллельной регистрации сигналов с искры зажигания, датчика расхода воздуха и датчика давления. Варьируемыми факторами в экспериментах являлись: частота вращения коленчатого вала двигателя ($n = 600 \text{ мин}^{-1}$ и 900 мин^{-1}), коэффициент избытка воздуха (α) и доля водорода, добавляемого в топливо (природный газ), которая составляла $r_h = 29 \%$, 47% и 58% (по объему). Коэффициент избытка воздуха рассчитывался по формуле (1), при этом необходимо отметить, что расход воздуха (G_a) для каждого скоростного режима был постоянным, то есть при $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ $G_a = 11 \text{ кг/ч}$, а при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ $G_a = 14 \text{ кг/ч}$.

$$\alpha = \frac{G_a}{l_h \cdot G_h + l_{ng} \cdot G_{ng}}, \quad (1)$$

где G_{ng} – расход природного газа, кг/ч; l_h – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг водорода; l_{ng} – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг природного газа.

Для придания исследуемой связи большей универсальности, то есть независимости от формы КС и газодинамических характеристик, все значения представлены в относительных величинах – отношение анализируемых параметров к параметрам при стехиометрическом составе смеси – например, для давления:

$$P_{rel} = \frac{P_{(\alpha=x)}}{P_{(\alpha=1)}}, \quad (2)$$

где $P_{(\alpha=1)}$ – максимум давления при стехиометрическом составе топливовоздушной смеси (ТВС), МПа; x – текущее значение коэффициента избытка воздуха.

3. Результаты и их обсуждение

Исследование связи максимального давления в КС от состава ТВС, концентрации водорода и частоты вращения коленчатого вала двигателя (то есть интенсивности турбулентности) выявило, что увеличение концентрации водорода в топливе приводит к заметному повышению давления в КС. Причем с обеднением смеси влияние добавления водорода усиливается. Позитивное влияние водорода на давление объясняется тем, что добавление водорода способствует увеличению теплоты сгорания топлива и скорости распространения пламени. В результате при сгорании выделяется больше тепла, а само

топливо сгорает в меньшем объеме. Таким образом, добавление водорода может обеспечить устойчивое сгорание бедной ТВС без потерь мощности двигателя. Обработка и анализ результатов зарубежных и отечественных исследований выявили, что повышение давления при изменении химического состава топлива наблюдалось при сжигании смесей метана с водородом в поршневых двигателях разной конструкции [14–17], а также при сжигании смесей бензина с водородом в двигателе [18, 19] и в бомбе постоянного объема [20] (сферический металлический сосуд, в котором проводятся исследования пламени.). На рис. 2 видно, что, несмотря на изменение конструкции КС и частоты вращения коленчатого вала двигателя, сохраняется степенная зависимость прироста давления от объемной доли водорода в топливе. Кроме того, установлено, что чем беднее ТВС, тем сильнее добавление водорода влияет на прирост давления. Так, например, 50-процентная добавка водорода увеличивает давление на 21 % при $\alpha = 1$ и на 31 % при $\alpha = 1,3$.

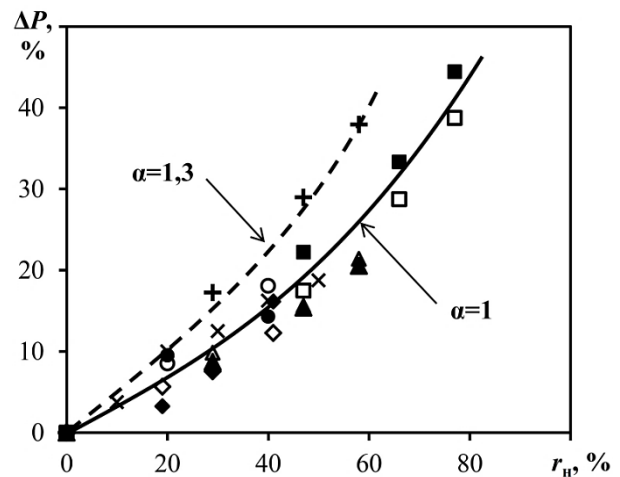


Рис. 2 – Зависимость прироста максимального давления ΔP от концентрации водорода, коэффициента избытка воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя:
 ▲ – $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; Δ, + – $n = 900 \text{ мин}^{-1}$; X – $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ [16];
 ■, ●, ◆ – $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ [14, 15, 17];
 □, ○, ◇ – $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ [14, 15, 17]

Fig. 2 – Dependence of the increase maximum pressure ΔP on the concentration of hydrogen, excess air ratio and engine speed: ▲ – $n = 600 \text{ rpm}$; Δ, + – $n = 900 \text{ rpm}$; X – $n = 1200 \text{ rpm}$ [16]; ■, ●, ◆ – $n = 2000 \text{ rpm}$ [14, 15, 17]; □, ○, ◇ – $n = 3000 \text{ rpm}$ [14, 15, 17]

Исследование влияния скоростного режима двигателя на давление показало, что увеличение частоты вращения коленчатого вала с 600 мин^{-1} до 900 мин^{-1} приводит к снижению давления (табл.).

Таблица

Влияние скоростного режима двигателя на максимальное давление при $r_h=0\%$

Table

Influence engine speed on maximum pressure at $r_h=0\%$

	Коэффициент избытка воздуха				
	0,8	0,9	1	1,1	1,2
P , МПа ($n=600 \text{ мин}^{-1}$)	1,67	1,85	1,97	1,95	1,92
P , МПа ($n=900 \text{ мин}^{-1}$)	1,4	1,63	1,73	1,7	1,6

Это объясняется тем, что в данном случае при увеличении частоты вращения прирост объема КС происходит быстрее скорости выгорания. В результате при $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ объем V , при котором наблюдается максимум давления, меньше, чем при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$, а значит, меньше теплоотвод в стенки КС и выше температура и давление. Влияние скоростного режима двигателя, добавления водорода, коэффициента избытка воздуха, вида топлива (природный газ и бензин) на связь максимального давления с объемом КС при максимальном давлении представлено на рис. 3.

Сравнение экспериментальных и расчётных значений показало 94-процентную сходимость результатов. Следовательно, мероприятия, направленные на снижение объема V (например, добавление водорода, изменение коэффициента избытка воздуха и т.д.), приводят к увеличению максимального давления.

4. Заключение

Использование нового композитного топлива hythane, представляющего смесь природного газа с водородом, перспективно для поршневых энергетических установок. В режиме холостого хода и близким к нему частотам вращения коленчатого вала двигателя, максимальное давление в камере сгорания зависит от коэффициента избытка воздуха и доли водорода в топливе – чем беднее топливовоздушная смесь и больше количество добавляемого водорода, тем интенсивнее рост давления. Закономерности, выявленные в данной статье, применимы для двигателей разных конструкций, работающих в разных скоростных режимах и использующих разное углеводородное топливо, что говорит о достоверности и универсальности сделанных выводов. Таким образом, для достижения наибольшей энергоэффективности камеры сгорания целесообразно использовать добавки водорода при работе двигателя на бедных топливовоздушных смесях, когда влияние водорода на давление максимально. Полученные результаты будут востребованы при проектировании и модернизации энергоэффективных и малоэмиссионных камер сгорания двигателей, использующих hythane.

Благодарности

Статья публикуется при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках программы назначения стипендии Президента РФ для молодых ученых СП-3204.2018.1.

Acknowledgments

The article is published with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the program for the appointment of a scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists "СП-3204.2018.1".

Список литературы

[1] Basshuysen, R.V. Internal Combustion Engine / R.V. Basshuysen. – New York: SAE International, 2016. – 1130 p.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

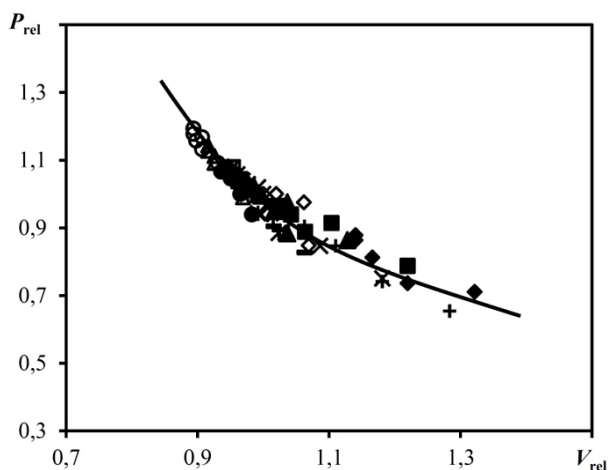


Рис. 3–Зависимость максимального давления от объема КС при изменении вида топлива: hythane– $\diamond, \square, \Delta, \circ, \blacklozenge, \blacktriangle, \bullet$ и бензин+H₂–, *, x, +; частоты вращения коленчатого вала: $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ – $\diamond, \square, \Delta, \circ, -, *, x$ и $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ – $\blacklozenge, \blacktriangle, \bullet, +$; концентрации водорода: – – $r_h = 19\%$; $\blacksquare, \square, *$ – $r_h = 29\%$; \blacktriangle, Δ – $r_h = 47\%$; \bullet, \circ – $r_h = 58\%$; — – расчет по формуле (3)

Fig. 3 – The dependence of maximum pressure on volume combustion chamber when changing type of fuel: hythane – $\diamond, \square, \Delta, \circ, \blacklozenge, \blacktriangle, \bullet$ and gasoline+H₂–, *, x, +; engine speed: $n = 600 \text{ rpm}$ – $\diamond, \square, \Delta, \circ, -, *, x$ and $n = 900 \text{ rpm}$ – $\blacklozenge, \blacktriangle, \bullet, +$; hydrogen concentration: – – $r_h = 19\%$; $\blacksquare, \square, *$ – $r_h = 29\%$; \blacktriangle, Δ – $r_h = 47\%$; \bullet, \circ – $r_h = 58\%$; — – formula calculation (3)

На рис. 3 видно, что несмотря на изменение скоростного режима двигателя, количества добавленного водорода, коэффициента избытка воздуха, вида топлива (природный газ и бензин) сохраняется степенная зависимость максимального давления в цилиндре двигателя от объема КС:

$$P_{rel} = (V_{rel})^{-1.3} \quad (3)$$



- [2] Иванникова, Е.М. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Е.М. Иванникова, В.Г. Систер, В.Г. Чирков // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*. – 2014. – № 13. – С. 35–44.
- [3] Бризицкий, О.Ф. О перспективах перевода двигателестроения на водородсодержащее топливо / О.Ф. Бризицкий, В.Я. Терентьев, В.В. Барелко // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. – 2014. – № 20. – С. 95–102.
- [4] Sandalcı, T. Effect of hythane enrichment on performance, emission and combustion characteristics of an CI engine / T. Sandalcı, S. Galata, Y. Karagoz // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2019. – No. 5. – P. 3208–3220.
- [5] Tangoz, S. The effect of hydrogen on the performance and emissions of an SI engine having a high compression ratio fuelled by compressed natural gas / S. Tangoz, N. Kahraman, S. Akansu // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – No. 5. – P. 25766–25780.
- [6] Столяревский, А.Я. Технология производства водородометановой смеси для автотранспорта и энергетики / А.Я. Столяревский // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. – 2009. – № 5. – С. 8–16.
- [7] Talibi, M. Influence of combusting methane-hydrogen mixtures on compression-ignition engine exhaust emissions and in-cylinder gas composition / M. Talibi, R. Balachandran, N. Ladammatos // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – No. 4. – P. 2381–2396.
- [8] Verma, G. Experimental investigations of combustion, performance and emission characteristics of a hydrogen enriched natural gas fuelled prototype spark ignition engine / G. Verma, R. Prasad, R. Agarwal // *Fuel*. – 2016. – No. 178. – P. 209–217.
- [9] Laget, O. Combining experimental and numerical investigations to explore the potential of downsized engines operating with methane/hydrogen blends / O. Laget, S. Richard, D. Serrano // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2012. – No. 15. – P. 11514–11530.
- [10] Shaikin, A.P. Relationship of flame propagation speed for methane-hydrogen fuel of the internal combustion engine with parameters combustion engine with parameters of ion current and hydrogen concentration / A.P. Shaikin, I.R. Galiev // *Russian Aeronautics*. – 2016. – No. 2. – P. 249–253.
- [11] Barlow, T.D. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions / T.D. Barlow. – United Kingdom, 2014. – 284 p.
- [12] Sudarmanta, B. Influence of Bioethanol Gasoline Blended Fuel on Performance and Emissions Characteristics from Port Injection Sinjai Engine 650 cc / B. Sudarmanta // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – No. 7. – P. 273–280.
- [13] Platts, D. Commissioning and Testing a Liquid Petroleum Gas fuel system / D. Platts. – University of Leicester, 2012. – 12 p.
- [14] Ceper, B.A. Usability of hydrogen-natural gas mixtures in internal combustion engines / B.A. Ceper. – Erciyes University, 2009. – 312 p.
- [15] Gao, Z. Investigation on characteristics of ionization current in a spark-ignition engine fueled with natural gas hydrogen blends with BSS de-noising method / Z. Gao, X. Wu, H. Gao // *International journal of hydrogen energy*. – 2010. – No. 35. – P. 12918–12929.
- [16] Ma, F. Hydrogen-enriched compressed natural gas as a fuel for engines / F. Ma, N. Naeve, M. Wang, L. Jiang. – *Natural Gas*, 2010. – 606 p.
- [17] Mohammed, S.E. Analysis of engine characteristics and emissions fueled by in-situ mixing of small amount of hydrogen in CNG / S.E. Mohammed, M.B. Baharom, A.R. Aziz // *Hydrogen Energy*. – 2011. – No. 36. – P. 4029–4037.
- [18] Дерячев, А.Д. Эмпирическая модель оценки концентрации оксидов азота при добавке водорода в ТВС двигателей с искровым зажиганием / А.Д. Дерячев. – Тольятти, 2015. – 150 с.
- [19] Negurescu, N. Aspects of using hydrogen in SI engine / N. Negurescu, C. Pana, A. Cernat // *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. – 2012. – No. 1. – P. 11–20.
- [20] Бортников, Л.Н. Состав продуктов сгорания бензоводородовоздушных смесей в сферической камере постоянного объема / Л.Н. Бортников [и др.] // *Химическая физика*. – 2011. – № 1. – С. 56–65.

References

- [1] Basshuysen R.V. *Internal Combustion Engine*. New York: SAE International, 2016; 1130 p.
- [2] Ivannikova E.M. Alternative fuels for internal combustion engines (Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)*, 2014; 13:35–44 (in Russ.).
- [3] Brizitsky O.F. On the prospects for the transfer of engine construction to hydrogen-containing fuel (О перспективах перевода двигателестроения на водородсодержащее топливо). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)*, 2014; 20:95–102 (in Russ.).
- [4] Sandalcı T., Galata S., Karagoz Y. Effect of hythane enrichment on performance, emission and combustion characteristics of an CI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019; 5:3208–3220.
- [5] Tangoz S., Kahraman N., Akansu S. The effect of hydrogen on the performance and emissions of an SI engine having a high compression ratio fuelled by compressed natural gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017; 5:25766–25780.
- [6] Stolyarevsky A.Ya. Production technology of hydrogen-methane mixture for motor transport and energy (Технология производства водородометановой смеси для автотранспорта и энергетики). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)*, 2009; 5:8–16 (in Russ.).



[7] Talibi M., Balachandran R., Ladommatos N. Influence of combusting methane-hydrogen mixtures on compression-ignition engine exhaust emissions and in-cylinder gas composition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017;4:2381–2396.

[8] Verma G., Prasad R., Agarwal R. Experimental investigations of combustion, performance and emission characteristics of a hydrogen enriched natural gas fuelled prototype spark ignition engine. *Fuel*, 2016;178:209–217.

[9] Laget O., Richard S., Serrano D. Combining experimental and numerical investigations to explore the potential of downsized engines operating with methane/hydrogen blends. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012;15:11514–11530.

[10] Shaikin A.P., Galiev I.R. Relationship of flame propagation speed for methane-hydrogen fuel of the internal combustion engine with parameters combustion engine with parameters of ion current and hydrogen concentration. *Russian Aeronautics*, 2016;2:249–253.

[11] Barlow T.D. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. United Kingdom, 2014; 284 p.

[12] Sudarmanta B. Influence of Bioethanol-Gasoline Blended Fuel on Performance and Emissions Characteristics from Port Injection Sinjai Engine 650 cc. *Applied Mechanics and Materials*, 2014;7:273–280.

[13] Platts D. Commissioning and Testing a Liquid Petroleum Gas fuel system. University of Leicester, 2012; 12 p.

[14] Ceper B.A. Usability of hydrogen-natural gas mixtures in internal combustion engines. Erciyes Unversity, 2009; 312 p.

[15] Gao Z., Wu X., Gao H. Investigation on characteristics of ionization current in a spark-ignition engine fueled with natural gas hydrogen blends with BSS denoising method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010;35:12918–12929.

[16] Ma F., Naeye N., Wang M., Jiang L. Hydrogen-enriched compressed natural gas as a fuel for engines. *Natural Gas*, 2010; 606 p.

[17] Mohammed S.E., Baharom M.B., Aziz A.R. Analysis of engine characteristics and emissions fueled by in-situ mixing of small amount of hydrogen in CNG. *Hydrogen Energy*, 2011;36:4029–4037.

[18] Deryachev A.D. Empirical model for estimating the concentration of nitrogen oxides with the addition of hydrogen in fuel assemblies of spark-ignited engines (Empiricheskaya model' otsenki kontsentratsii oksidov azota pri dobavke vodoroda v TVS dvigateley s iskrovym zazhiganiyem). Togliatti, 2015; 150 p. (in Russ.).

[19] Neguresscu N., Pana C., Cernat A. Aspects of using hydrogen in SI engine. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 2012;1:11–20.

[20] Bortnikov L.N., Pavlov D.A., Rusakov M.M., Shaikin A.P. The composition of combustion products formed from gasoline-hydrogen-air mixtures in a constant-volume spherical chamber. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2011;1:75–83.

Транслитерация по BSI



VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»

19-22 ноября 2019 г. в Москве (ИМЕТ РАН)

Регистрация и прием материалов тезисов до 15 июня 2019 года

Ключевой задачей Конференции является квалифицированное обсуждение проблем прочности и долговечности новых и зарекомендовавших себя материалов в деталях конструкций современной промышленности.

Программа Конференции включает пленарные доклады ведущих ученых и руководителей предприятий, молодых лауреатов научных российских премий, устные и стендовые доклады.

Научные секции

Секция 1 Общие закономерности процессов деформации и разрушения материалов на нано-, микро- и макроуровнях.

Секция 2 Разработка технологий получения ультрамелкозернистых материалов, основанных на процессах пластической деформации.

Секция 3 Новые стали и сплавы, обладающие перспективной структурой и высоким комплексом механических характеристик.

Секция 4 Композиционные материалы и покрытия с улучшенными механическими и триботехническими свойствами. и другие секции

В рамках Конференции пройдет Молодежная школа-конференция.

www.icp.ac.ru

