

УДК 621.438

**Б. Г. ТИМОШЕВСКИЙ, М. Р. ТКАЧ, А. С. МИТРОФАНОВ,
А. С. ПОЗНАНСКИЙ, А. Ю. ПРОСКУРИН***Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Украина***АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА БЕНЗИНЕ
С ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗА**

В данной статье по материалам экспериментального исследования дан анализ работы поршневого двигателя 2Ч 7,2/6 с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием при работе на бензине с добавками синтез-газа. Приводятся индикаторные диаграммы, а также зависимости индикаторных показателей, при работе по нагрузочной характеристике с добавками синтез-газа – 25...64%. Установлено, что при использовании добавок синтез-газа к бензину наблюдаются увеличение всех индикаторных показателей работы двигателя, а также происходит увеличение максимального давления сгорания до 211 кПа и смещение его в сторону ВМТ на 7° п.к.в.

Ключевые слова: синтез-газ, биоэтанол, паровая конверсия, индикаторная диаграмма, двигатель внутреннего сгорания, добавка синтез-газа.

Введение

В последние годы в промышленно развитых странах мира активно ведутся работы по использованию в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания альтернативных видов топлива, полученных из возобновляемого сырья. Одним из перспективных видов топлива является водород, а также синтез-газ – в состав которого входит значительное количество водорода.

Применение синтез-газа в качестве топлив для ДВС связано с рядом особенностей организации рабочего цикла и соответственно с изменением его индикаторных показателей. Так применение синтез-газа приводит к некоторому снижению мощности конвертированного двигателя (низшая теплота сгорания синтез-газа в среднем составляет 25–30 МДж/кг), что не всегда является приемлемым для потребителя. Решить эту проблему можно путем добавок синтез-газа к основному топливу на больших нагрузках и полной работе двигателя на синтез-газе при малых.

Добавки синтез-газа, как и чистое его применение, безусловно оказывают свое влияние на рабочий процесс двигателя в целом и его показатели в частности.

2. Постановка задачи

Имеющийся в составе синтез-газа водород значительно улучшаются процесс сгорания, а также эффективные и экологические показатели работы двигателя [3, 4]. Именно поэтому многими отечест-

венными и зарубежными учеными уделяется значительное внимание в области экспериментальных исследований влияния применения альтернативного топлива на параметры рабочего процесса ДВС [5–7]. Однако, в результате изучения отечественной и зарубежной литературы, не удалось выявить достаточно полных и достоверных экспериментальных и теоретических данных об особенностях организации рабочего цикла двигателей, работающих на бензине с добавками синтез-газа.

Цель работы – эффективное замещение углеводородного топлива альтернативным, а также исследование изменения индикаторных показателей, при работе ДВС 2Ч 7,2/6 на бензине с добавками синтез-газа 25...64 %.

3. Результаты исследования

Одним из методов исследования рабочего процесса ДВС является физическое моделирование, которое позволяет получить достаточно точные результаты. Исследования рабочего процесса были проведены на экспериментальной установке с двигателем 2Ч 7,2/6 (рис. 1).

Основные параметры бензинового двигателя 2Ч 7,2/6 с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием, работающего на трехфазный генератор переменного тока, представлены в таблице 1.

Используемый для работы двигателя синтез-газ был получен путем термохимической паровой конверсии биоэтанола. Основными компонентами синтез-газа являются H_2 (43 %), CO (34 %) и CH_4 (23 %). Расчетная удельная теплота сгорания синтез-

газа составила 28,79 МДж/кг, а плотность – 0,63 кг/м³. Экспериментальные данные были получены при был добавках синтез-газа к бензину в диапазоне 25... 64 % по массе.



Рис. 1. Экспериментальная установка на базе двигателя с искровым зажиганием 2Ч 7,2/6

Таблица 1
Основные параметры ДВС 2Ч 7,2/6

№ п.п.	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Количество цилиндров	шт.	2
2	Рабочий объем цилиндров	см ³	490
3	Диаметр цилиндра	мм	72
4	Ход поршня	мм	60
5	Степень сжатия	–	6
6	Частота вращения коленчатого вала	об/мин	3000
7	Эффективная мощность	кВт	5,88
8	Удельный эффективный расход топлива	кг/кВт×ч	0,435

На рисунке 2 представлен ряд индикаторных диаграмм, снятых при разных добавках синтез-газа к бензину по массе. При этом коэффициент избытка воздуха α лежал в пределах 1,1...1,22, а частота вращения коленчатого вала – 3000 об/мин.

Обработка индикаторных диаграмм позволила установить влияние добавки синтез-газа на изменение индикаторных показателей работы двигателя таких, как индикаторная работа цикла, среднее индикаторное давление, удельный индикаторный расход топлива и индикаторный КПД.

В результате осуществления цикла тепловая энергия выделяющаяся при сгорании смеси синтез-газа и бензина превращается в полезную работу, развиваемую газами в цилиндре двигателя. При этом значение полезной работы цикла с увеличением добавки синтез-газа до 64% растет. На рисунке 3

представлено изменение индикаторной работы цикла в зависимости от добавок синтез-газа.

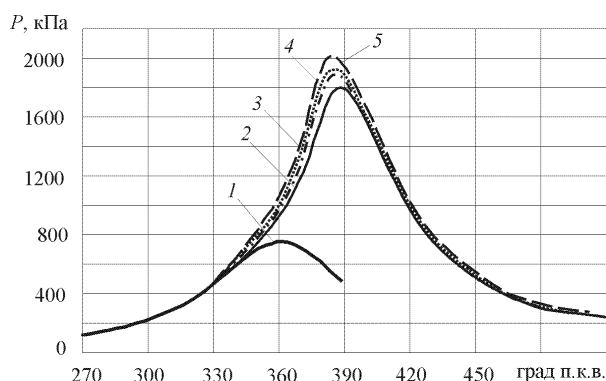


Рис. 2. Индикаторная диаграмма двигателя 2Ч 7,2/6 при разных добавках синтез-газа к бензину:
1 – линия сжатия без сгорания; 2 – бензин;
3, 4, 5 – добавка синтез-газа 28%, 32% и 64 % соответственно

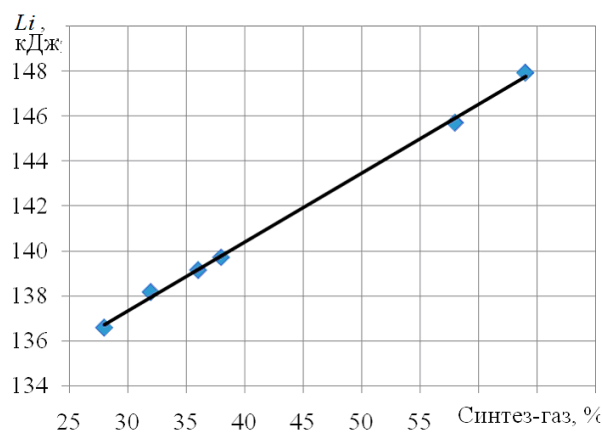


Рис. 3. Индикаторная работа цикла двигателя 2Ч 7,2/6

В зависимости от добавки синтез-газа снижение удельного индикаторного расхода топлива составляет 3...17 % (рис. 4) при этом также наблюдается и рост индикаторного КПД цикла (рис. 5).

Среднее индикаторное давление является функцией добавки синтез-газа и возрастает по мере увеличения добавки синтез-газа (рис.6). При работе на бензине среднее индикаторное давление составляло 554 кПа, а с добавками синтез-газа 64 % – 605 кПа, что на 8,4 % выше.

Анализ индикаторных диаграмм (см. рис. 2) показал, что наличие синтез-газа в пределах 28...64 % по массе приводит к увеличению максимального давления сгорания на 211 кПа и смещению его в сторону ВМТ на 7° п.к.в. На рисунке 7 представлено изменение максимального давления сгорания в зависимости от содержания синтез-газа в топливовоздушной смеси.

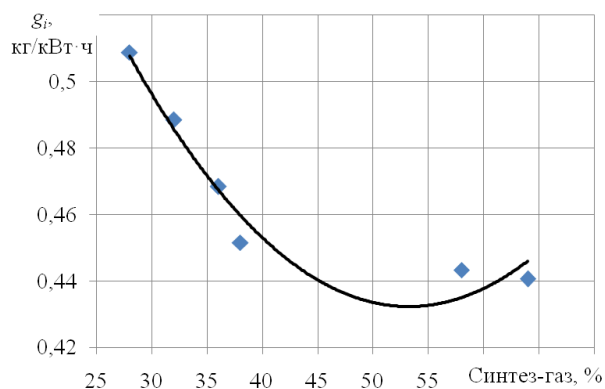


Рис. 4. Удельный индикаторный расход топлива двигателя 2Ч 7,2/6

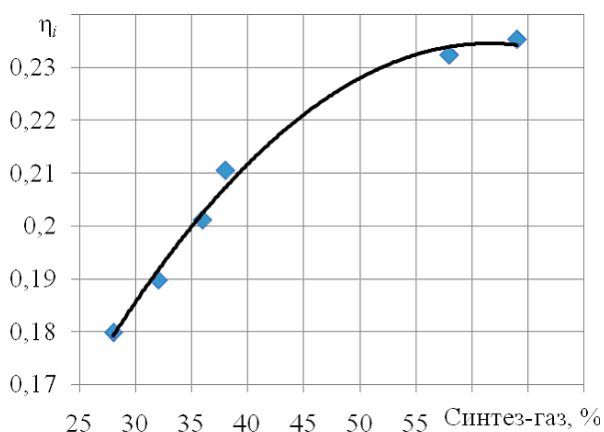


Рис. 5. Индикаторный КПД цикла двигателя 2Ч 7,2/6

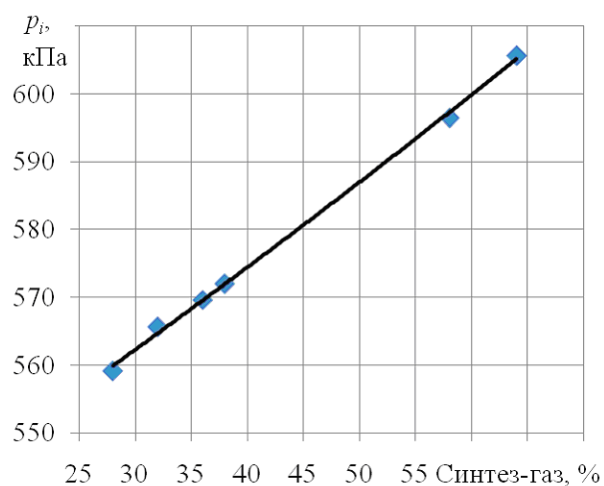


Рис. 6. Среднее индикаторное давление двигателя 2Ч 7,2/6

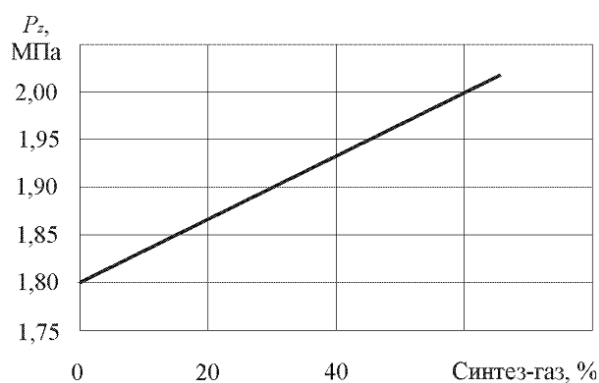


Рис. 7. Влияния добавок синтез-газа на максимальное давление сгорания

Смещение максимума сгорания в сторону ВМТ и увеличение максимального давления сгорания приводит к более жесткой работе двигателя. Многие исследователи в своих работах прямо указывают на связи жесткости рабочего цикла двигателя с надежностью и шумностью его работы. Жесткая работа двигателя, сопровождающаяся высокими значениями максимального давления сгорания, не допустима при эксплуатации ДВС, поскольку приводит к увеличению динамической нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма, а также разрушению подшипников. На рис.8 представлено изменение скорости нарастания давления $dp/d\phi$ в зависимости от добавок синтез-газа.

Дальнейшее увеличение добавки синтез-газа к бензину (более 64%) без корректировки коэффициента избытка воздуха и угла опережения зажигания может негативно сказаться на работе двигателя. Также позитивное влияние на рабочий цикл оказывает учет степени сжатия, коэффициента наполнения цилиндра, фаз газораспределения, способ смесеобразования.

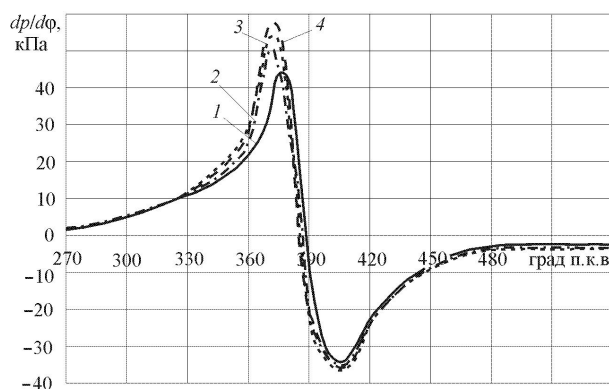


Рис. 8. Изменение скорости нарастания давления в зависимости от разных добавок синтез-газа: 1 – бензин; 2, 3, 4 – добавка синтез-газа 28, 32, 64 % соответственно

Заключение

Проведенные научные исследования позволили сформулировать следующие научные положения:

1. При использовании добавок синтез-газа к бензину в диапазоне 28...64% наблюдаются увеличение всех индикаторных показателей работы двигателя. Так, среднее индикаторное давление увеличивается на 8,4 %, а удельный индикаторный расход топлива снижается на 3...17 %.

2. Добавка синтез-газа к бензину приводит к увеличению максимального давления сгорания до 211 кПа и смещение его в сторону ВМТ на 7° п.к.в.

3. При использовании добавок синтез-газа к бензину более 64% приводит к более жесткой работе двигателя. Снижение жесткости работы двигателя и обеспечение стабильного бездетонационного сгорания можно добиться путем увеличения коэффициента избытка воздуха до 1,2...1,5, а также уменьшения угла опережения зажигания.

Литература

1. Данилов, А. М. Альтернативные топлива: достоинства и недостатки. Проблемы применения [Текст] / А. М. Данилов, Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2003. – Т. 47, № 6. – С. 4-11.

2. Шкалова, В. П. Применение нетрадиционных топлив в дизелях [Текст] / В. П. Шкалова. – М. : НИИД, 1986. – 85 с.

3. Термодинамический анализ рабочего цикла двигателя с термохимическим генерированием водородного топлива [Текст] / Н. А. Хрипач, В. Ф. Каменев, В. М. Фомин [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 4(36) – С. 45–50.

4. Носач, В. Г. Повышение эффективности использования природного газа в теплоэнергетике с помощью термохимической регенерации [Текст] / В. Г. Носач, А. А. Шрайбер // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 42–50.

5. Каменев, В. Ф. Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях [Текст] / В. Ф. Каменев, В. М. Фомин, Н. А. Хрипач // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 7(27). – С. 32 – 42.

6. Shudo, T. Influence of Reformed Gas Composition on HCCI Combustion of Onboard Methanol-Reformed Gases [Text] / T. Shudo, T. Takahashi // SAE Technical Paper Series, 8-10 June 2004. – Canada, 2004. – P. 23–31.

7. Azimov, U. Combustion and Exhaust Emission Characteristics of Diesel Micro-Pilot Ignited Dual-Fuel Engine [Text] / U. Azimov, E. Tomita, N. Kawahara //

Diesel Engine – Combustion, Emissions and Condition Monitoring. – April 30, 2013. – Chapter 2. – P. 33-62.

8. Абрамчук Ф. И. Влияние добавок водорода к природному газу на свойства смесового топлива [Текст] / Ф. И. Абрамчук, А. Н. Кабанов, Г. В. Майстренко // Автомобильный транспорт. – 2009. – № 24. – С. 45–49.

References

1. Danilov, A. M., Kaminskiy, E. F., Havkin, V. A. Alternativnyie topliva: dostoinstva i nedostatki. Problemyi primeneniya [Alternative fuel: dignity and disadvantages. Problems of application]. *Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D. I. Mendeleeva)*, 2003, vol. 47, no. 6, pp. 4-11.

2. Shkalova, V. P. *Primenenie netraditsionnyih topliv v dizelyah* [The use of unconventional fuels in diesel engines]. Moscow, NIAD Publ., 1986. 86 p.

3. Hripach, N. A., Kamenev, V. F., Fomin, V. M. Termodinamicheskiy analiz rabocheho tsikla dvigatelya s termohimicheskim generirovaniem vodorodnogo topliva [Thermodynamic analysis of the engine operating cycle with the thermochemical generation of hydrogen fuel]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 2006, no. 4(36), pp. 45-50.

4. Nosach, V. G., Shrayber, A. A. Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya prirodnogo gaza v teploenergetike s pomoschyu termohimicheskoy regeneratsii [More efficient use of natural gas in power via thermochemical regeneration]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2009, vol. 31, no. 3, pp. 42-50.

5. Kamenev, V. F., Fomin, V. M., Hripach, N. A. Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya raboty dvigatelya na dizelno-vodorodnyih toplivnyih kompozitsiyah [Theoretical and experimental investigations of the engine on diesel-hydrogen fuel compositions]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 2005, no. 7(27), pp. 32-42.

6. Shudo, T., Takahashi, T. Influence of Reformed Gas Composition on HCCI Combustion of Onboard Methanol-Reformed Gases. *SAE Technical Paper Series, 8-10 June 2004, Canada*, 2004, pp. 23–31.

7. Azimov, U., Tomita, E., Kawahara, N. Combustion and Exhaust Emission Characteristics of Diesel Micro-Pilot Ignited Dual-Fuel Engine. *Diesel Engine – Combustion, Emissions and Condition Monitoring, April 30, 2013, chapter 2*, pp. 33-62.

8. Abramchuk, F. I., Kabanov, A.N., Maystrenko, G. V. Vliyanie dobavok vodoroda k prirodnomu gazu na svoystva smesevogo topliva [Influence of hydrogen addition to natural gas on the properties of composite propellant]. *Avtomobilnyi transport*, 2009, no. 24, pp. 45-49.

АНАЛІЗ РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА БЕНЗИНІ С ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗУ

Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Прокурін

У даній статті за матеріалами експериментального дослідження дано аналіз роботи поршневого двигуна 2Ч 7,2/6 з іскровим запалюванням і зовнішнім сумішоутворенням при роботі на бензині з добавками синтез-газу. Наводяться індикаторні діаграми, а також залежності індикаторних показників, при роботі по навантажувальній характеристиці з добавками синтез-газу – 25...64 %. Встановлено, що при використанні добавок синтез-газу до бензину спостерігається збільшення всіх індикаторних показників роботи двигуна, а також відбувається збільшення максимального тиску згоряння до 211 кПа і зміщення його в бік ВМТ на 7° п.к.в.

Ключові слова: синтез-газ, біоетанол, парова конверсія, індикаторна діаграма, двигун внутрішнього згоряння, добавка синтез-газу.

ANALYSIS OF A PISTON ENGINE WHEN OPERATING ON PETROL WITH ADDITIVES OF SYNGAS

B. G. Timoshevsky, M. R. Tkach, A. S. Mitrofanov, A. S. Poznansky, A. Y. Proskurin

In this article, based on a pilot study analyzes the operation of the piston engine 2h 7.2/6 with spark ignition and external mixture formation on petrol with additives of syngas. Given the indicator diagram and dependence of indicator indicators, when working on a load characteristic with additives of syngas – 25...64 %. It is found that when using the additives of synthesis gas to gasoline observed increase in indicators of engine performance and an increase the maximum combustion pressure to 211 kPa and its displacement towards the TDC at 7°.

Key words: synthesis gas, bioethanol, steam reforming, the indicator diagram, the internal combustion engine, additives synthesis gas.

Тимошевський Борис Георгієвич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. двигателів внутрішнього згоряння Національного університета кораблебудування ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: btym@mksat.net.

Ткач Михайло Романович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. інженерної механіки і технології машинобудування Національного університета кораблебудування ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: mykhaylo.tkach@gmail.com.

Митрофанов Олександр Сергєєвич – канд. техн. наук, доц. каф. двигателів внутрішнього згоряння Національного університета кораблебудування ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru.

Познанський Олександр Станіславович – преп. каф. інженерної механіки і технології машинобудування Національного університета кораблебудування ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: andreypoznansky@gmail.com.

Прокурін Аркадій Юрьєвич – преп. каф. двигателів внутрішнього згоряння Національного університета кораблебудування ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua.

Tymoshevskyy Borys Georgievich – Doctor of Technical Science, professor, head of Dept. of Internal Combustion Engines, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, e-mail: btym@mksat.net.

Tkach Mykhaylo Romanovich – Doctor of Technical Science, professor, head of Dept. of Engineering Mechanics and Mechanical Technology, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, e-mail: mykhaylo.tkach@gmail.com.

Mitrofanov Aleksandr Sergeevich – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Internal Combustion Engines, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru.

Poznanskyuy Andrey Stanislavovich – lecturer of Dept. of Engineering Mechanics and Mechanical Technology, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, e-mail: andreypoznansky@gmail.com.

Proskurin Arkadyuy Yurevich – lecturer of Dept. of Internal Combustion Engines, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua.