

УДК 621.438

**М. Р. ТКАЧ, Б. Г. ТИМОШЕВСКИЙ, А. С. ПОЗНАНСКИЙ,  
А. С. МИТРОФАНОВ, А. Ю. ПРОСКУРИН***Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Украина***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ 4Ч 8,4/9,1 ПУТЁМ ДОБАВКИ  
СИНТЕЗ-ГАЗА К БЕНЗИНУ**

*Представлены результаты работы двигателя 4Ч 8,4/9,1 с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием при работе на бензине с добавками синтез-газа. Получены зависимости изменения параметров рабочего цикла двигателя, работающего по нагрузочной характеристике при величине добавки синтез-газа к бензину 25...65 %. При использовании добавок синтез-газа 65 % снижение индикаторной мощности составляет 20 %, при этом также снижается и удельный индикаторный расход топлива. Установлено, что добавка синтез-газа к бензину уменьшает общую продолжительность сгорания смеси и улучшает экологические показатели работы двигателя.*

**Ключевые слова:** синтез-газ, биоэтанол, термохимическое преобразование этанола, двигатель внутреннего сгорания, добавка синтез-газа.

**Введение**

В связи с ограниченностью запасов нефтяных топлив, возникает вопрос использования альтернативных видов топлива. Формирование рабочих процессов с использованием альтернативных видов топлива является наиболее перспективным путём совершенствования современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), так как связан с экономией ресурсов традиционного топлива и эффективной работой двигателей.

На сегодняшний день, в малотоннажном речном судостроении применяются ДВС мощностью до 200...300 кВт, в качестве топлива которых используется бензин. При эксплуатации таких транспортных средств, происходит загрязнение не только атмосферы, но и водного пространства. Для судовых бензиновых двигателей, в качестве альтернативного топлива, могут использоваться этиловый и метиловый спирты, растительные масла, водород, биодизель, сжиженный или сжатый природный газ, синтез-газ. Для малотоннажных судов этанол имеет ряд преимуществ – менее токсичен, чем бензин, легко поддается биологическому разложению, является восстановительным топливом, повышает экологическую устойчивость [1].

Однако, несмотря на ряд преимуществ, этанол имеет существенные недостатки, которые сдерживают его широкое применение в поршневых двигателях. Основные недостатки связаны с отличием от нефтяных топлив по физико-химическим свойствам, что делает необходимым внесение в конструкцию двигателя существенных изменений. Также этанол

способен поглощать воду, особенно соленую для морского транспорта, что приводит к коррозии топливной системы [2].

**1. Постановка задачи**

Одним из перспективных способов применения этанола в поршневых ДВС, который может устранить большинство недостатков, является использование этанола в виде синтез-газа (смесь горючих газов, основными компонентами которого являются CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), путем термохимического преобразования этанола [3–5]. Существенным недостатком, сдерживающим широкое использование синтез-газа в качестве самостоятельного топлива для ДВС является снижена удельная теплота сгорания синтез-газа по сравнению с традиционными топливами, что приводит к снижению мощности двигателя. Она составляет около 25...30 МДж/кг. Возможным путем решения проблемы, связанной с потерей мощности при работе двигателя на синтез-газе является использование синтез-газа в качестве добавки к основному топливу на частичных нагрузках работы.

В результате анализа отечественных и зарубежных литературных источников, обнаружено, что многие учёные уделяют значительное внимание экспериментальным исследованиям влияния синтез-газа на организацию рабочего процесса ДВС [6–8]. Однако, не удалось обнаружить достаточно полных и надежных экспериментальных и теоретических данных об особенностях организации рабочего цикла двигателей, работающих на бензине с добавками синтез-газа. Кроме того, процессы, происходящие в

ДВС при сгорании, недостаточно изучены, а также в неполной мере раскрыты взаимосвязь и влияние состава величины добавки синтез-газа на основные параметры рабочего цикла двигателей.

**Цель работы** – повышение эффективных параметров работы двигателя 4Ч 8,4/9,1 с искровым зажиганием, работающего на бензине с добавками синтез-газа.

## 2. Результаты исследования

Численное моделирование влияния величины добавки синтез-газа на эффективные показатели рабочего процесса выполнено применительно к ДВС 4Ч 8,4/9,1, широко используемого в малотоннажном судостроении. Так перспективна его установке на яхту «Икар», которая спроектирована и построена Николаевским кораблестроительным институтом (ныне НУК). Основные технические характеристики яхты:

- длина наибольшая – 16,05 м;
- ширина наибольшая – 4,38 м;
- осадка – 2,55 м;
- полное водоизмещение – 27,6 т.

Диапазон величины добавки синтез-газа к бензину при исследовании составляет 25...65 % по массе. Основными компонентами синтез-газа являются  $H_2$  (43 %),  $CO$  (34 %) и  $CH_4$  (23 %). Расчетная удельная теплота сгорания синтез-газа составляет – 28,79 МДж/кг, плотность – 0,63 кг/м<sup>3</sup>. Основные параметры двигателя 4Ч 8,4/9,1 приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Основные параметры ДВС 4Ч 8,4/9,1

№ п.п.	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Количество цилиндров	шт.	4
2	Диаметр цилиндра	мм	84
3	Ход поршня	мм	91
4	Степень сжатия	–	14
5	Частота вращения коленчатого вала	об/мин	6000
6	Эффективная мощность	кВт	121

Изменение индикаторной мощности и удельно индикаторного расхода бензина в зависимости от величины добавки синтез-газа к бензину представлены на рис. 1.

В зависимости от величины добавки синтез-газа к бензину 25...65 % наблюдается снижение индикаторного давления и индикаторной работы цикла на 12...20 % (рис. 2).

Влияние добавки синтез-газа к бензину на индикаторный КПД цикла представлено на рис. 3.

Уменьшение границ угла опережения зажигания при использовании добавки синтез-газа к бензиновому топливу происходит за счет увеличения скорости сгорания (рис. 4) при увеличении доли  $H_2$  в топливе.

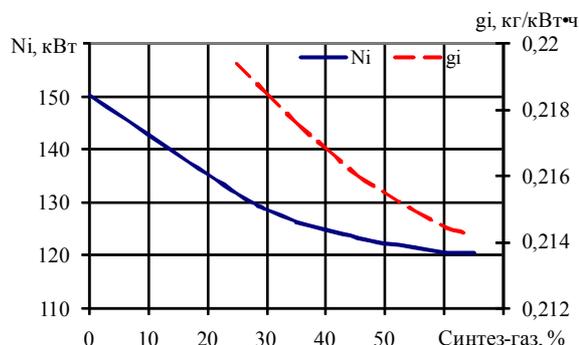


Рис. 1. Влияние величины добавки синтез-газа к бензину на индикаторную мощность и удельный индикаторный расход бензина

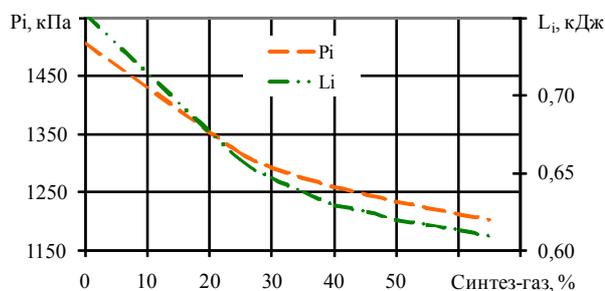


Рис. 2. Изменение индикаторного давления и индикаторной работы цикла в зависимости от величины добавки синтез-газа к бензину

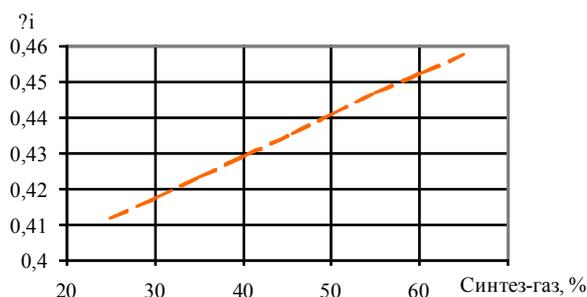


Рис. 3. Индикаторный КПД цикла двигателя 4Ч 8,4/9,1

Так, границы изменения угла опережения зажигания на режиме 6000 об/мин (максимальной мощности двигателя) составили 5...11° до ВМТ. Изменение значения угла опережения зажигания является следствием достаточно высоких значений скорости сгорания по сравнению с бензиновым топливом. Скорость сгорания топлива с добавкой синтез-газа находится в пределах 0,48...0,74 м/с, а для бензина – 0,32 м/с.

Изменение максимального давления сгорания и продолжительности сгорания представлено на рис. 5.

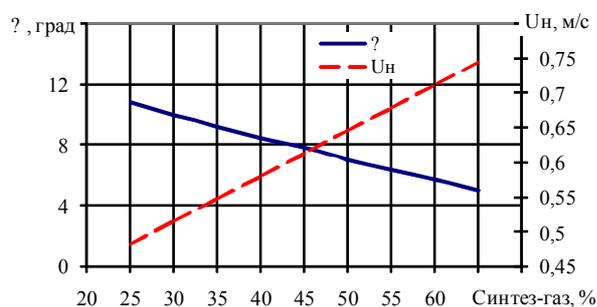


Рис. 4. Изменение угла опережения зажигания и нормальной скорости распространения фронта пламени в зависимости от добавки синтез-газа

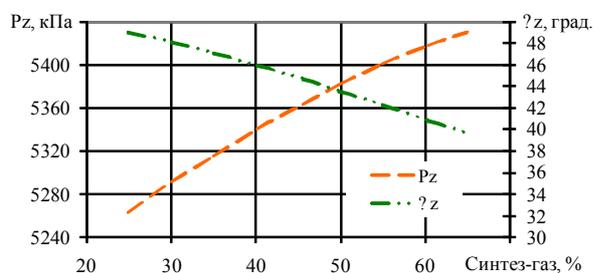


Рис. 5. Влияние величины добавки синтез-газа к бензину на максимальное давление и продолжительность сгорания

Повышение давления сгорания при добавке синтез-газа к бензину объясняется увеличенной концентрацией водорода в топливе, а уменьшение продолжительности сгорания — высокой скоростью сгорания альтернативного топлива. Уменьшение коэффициента наполнения и низшей теплоты сгорания в зависимости от величины добавки синтез-газа к бензину приведены на рис. 6.

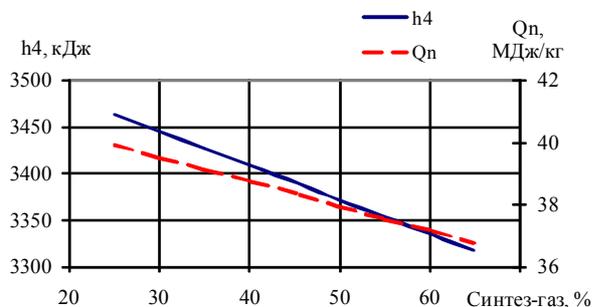


Рис. 6. Изменение коэффициента наполнения и низшей теплоты сгорания от величины добавки синтез-газа

Так, тепло, которое вводится на 1 м<sup>3</sup> объема цилиндра при внешнем смесеобразовании и стехиометрическом соотношении с воздухом для бензина, составляет 3553 кДж, а для добавки синтез-газа к бензину 65 % по массе — 3317 кДж, то есть на 6,64 % ниже, что и обуславливает снижение индикаторной мощности двигателя.

Максимальная температура сгорания  $T_z$  при использовании синтез-газа в качестве добавок не превышает рекомендованной границы по экологическому допуску, а также имеет тенденцию к снижению. Так максимальное снижение температуры при добавке 65 % синтез-газа составляет примерно 370°С.

## Заключение

Проведенные научные исследования позволили сформулировать следующие научные положения:

1. Установлено, что для двигателей с искровым зажиганием, работающих на бензине с добавками синтез-газа 25...65 %, наблюдается снижение индикаторной мощности. Так при использовании добавок синтез-газа 65 % снижение индикаторной мощности составляет 20 %, при этом также снижается и удельный индикаторный расход топлива. Снижение мощности двигателя можно решить путем малых добавок синтез-газа, на больших нагрузках и полной работе двигателя на синтез-газе при малых.

2. При значительных добавках синтез-газа к бензину (при 65 %) продолжительность сгорания уменьшается, при этом максимум давления сгорания смещается в сторону ВМТ. Для снижения негативного влияния смещения максимума сгорания к ВМТ угол опережения зажигания значительно уменьшается и для режима максимальной мощности составляет 5...11° до ВМТ.

3. Добавка синтез-газа к бензину уменьшает общую продолжительность сгорания смеси. Так при величине добавки синтез-газа к бензину 65 %, для ДВС 4Ч 8,4/9,1, продолжительность сгорания снижается на 37 %. В зависимости от величины добавки синтез-газа продолжительность сгорания  $\varphi_z$  лежит в диапазоне 40...55°.

4. Добавки синтез-газа к бензину улучшают экологические показатели работы двигателя. Улучшение прежде всего связано со снижением максимальной температуры сгорания (при добавке 65 % синтез-газа составляет примерно 370°С), а также применением коэффициента избытка воздуха больше 1,07...1,22.

## Литература

1. Ethanol as Fuel for Recreational Boats [Электронный ресурс] // Dartmouth College official site. – Режим доступа : [http://www.dartmouth.edu/~ethanolboat/Ethanol\\_Outboard\\_Final\\_Report.pdf](http://www.dartmouth.edu/~ethanolboat/Ethanol_Outboard_Final_Report.pdf). – 26.04.2016.
2. A Study of the Effects of Running Gasoline with 15% Ethanol Concentration in Current Production Outboard Four-Stroke Engines and Conventional Two-Stroke Outboard Marine Engines [Электронный ресурс] // National Renewable Energy Laboratory official site. – Режим доступа : <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/52909.pdf>. – 26.04.2016.
3. 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.
4. Шкалова, В. П. Применение нетрадиционных топлив в дизелях [Текст] / В. П. Шкалова. – М. : НИИД, 1986. – 85 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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. – P. 23–31.
8. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] : учеб. для вузов / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.

## References

1. Ethanol as Fuel for Recreational Boats. Dartmouth College. Available at: [http://www.dartmouth.edu/~ethanolboat/Ethanol\\_Outboard\\_Final\\_Report.pdf](http://www.dartmouth.edu/~ethanolboat/Ethanol_Outboard_Final_Report.pdf) (accessed 26.04.2016).
2. A Study of the Effects of Running Gasoline with 15% Ethanol Concentration in Current Production Outboard Four-Stroke Engines and Conventional Two-Stroke Outboard Marine Engines. National Renewable Energy Laboratory. Available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/52909.pdf> (accessed 26.04.2016).
3. 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.
4. Shkalova, V. P. *Primenenie netraditsionnyih topliv v dizelyah* [The use of unconventional fuels in diesel engines]. Moscow, NIAD Publ., 1986. 86 p.
5. 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.
6. Kamenev, V. F., Fomin, V. M., Hripach, N. A. Teoreticheskie i eksperimentalnyie 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.
7. 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, pp. 23–31.
8. Vyirubov, D. N., Ivaschenko, N. A., Ivin, V. I. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Teoriya porshnevyyih i kombinirovannyih dvigateley* [Internal combustion engines: theory and combined piston engines] Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 372 p.

Поступила в редакцию 26.04.2016, рассмотрена на редколлегии 15.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., директор С. И. Сербин, Машиностроительный институт Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина.

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВИГУНА 4Ч 8,4/9,1 ШЛЯХОМ ДОБАВКИ СИНТЕЗ-ГАЗУ ДО БЕНЗИНУ

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

Представлені результати роботи двигуна 4Ч 8,4/9,1 з іскровим запалюванням та зовнішнім сумішоутворенням при роботі на бензині з добавками синтез-газу. Отримано залежності зміни параметрів робочого циклу двигуна, що працює за навантажувальною характеристикою при величині добавки синтез-газу до бензину 25...65 %. При використанні добавок синтез-газу 65 % зниження індикаторної потужності стано-

вить 20 %, при цьому також знижується і питома індикаторний витрата палива. Встановлено, що добавка синтез-газу до бензину зменшує загальну тривалість згоряння суміші і покращує екологічні показники роботи двигуна.

**Ключові слова:** синтез-газ, біоетанол, термохімічне перетворення етанолу, двигун внутрішнього згоряння, добавка синтез-газу.

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE 4 CYLINDER 4-STROKE ENGINE 8.4/9.1 WITH ADDITIVES SYNTHESIS GAS TO GASOLINE

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

Presented the results of operation of the 4 cylinder 4-stroke engine 8.4/9.1 with spark ignition and external mixture formation on petrol with additives of synthesis gas. The dependences of change of the engine operating cycle parameters, working under the loading characteristic at the value of the additive synthesis gas to gasoline of 25...65 %. When using the additives of the synthesis gas 65 % reduction in power display is 20 %, while also dropping indicator and the specific fuel consumption. It is found that the addition of synthesis gas to gasoline reduces the overall duration of the combustion mixture and improves the environmental performance of the engine.

**Key words:** synthesis gas, bioethanol, thermochemical conversion of ethanol, the internal combustion engine, additives synthesis gas.

**Ткач Михаил Романович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерной механики и технологии машиностроения Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: mykhaylo.tkach@gmail.com.

**Тимошевский Борис Георгиевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: btym@mksat.net.

**Познанский Андрей Станиславович** – преп. каф. инженерной механики и технологии машиностроения Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andreypoznansky@gmail.com.

**Митрофанов Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц. каф. двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru.

**Проскурин Аркадий Юрьевич** – преп. каф. двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua.

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

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

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

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

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