

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ 1Ч 6,8/5,4 (ТЕ 200), РАБОТАЮЩЕГО НА ЭТАНОЛЕ С ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Александр Митрофанов¹, Аркадий Проскурин², Андрей Познанский³

EFFICIENCY OF EXHAUST GASES THERMOCHEMICAL HEAT UTILIZATION FOR THE ETHANOL 1 CYLINDER 4-STROKE ENGINE 6,8/5,4 (TE 200)

Oleksandr Mytrofanov¹, Arkadii Proskurin², Andrii Poznanskyi³

Abstract. The results of the power plant features experimental studies based on reciprocating engine 1 cylinder 4-stroke engine 6,8/5,4 with the thermochemical heat recovery of exhaust gases. According to the materials of experimental research the analysis of the 4-stroke engine 6,8/5,4 with spark ignition and external mixture formation when operating on petrol with additives of syngas. Given the indicator diagram and dependence of effective indicators, when working on a load characteristic with additives of syngas – 2,0...3,3 %.

Keywords: ICE, utilization, exhaust gases, ethanol, synthesis gas, fuel consumption.

1. Введение

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) с принудительным зажиганием значительная часть энергии (соизмеримая с эффективной мощностью двигателя), выделяемая при сгорании топлива, уходит на тепловые потери (отходящие газы, охлаждающую жидкость, масло и т. д.) [1].

Утилизация тепловых потерь ДВС позволяет значительно улучшить эффективные и экологические показатели работы двигателя и энергетической установки в целом. Так, потери тепла с охлаждающей жидкостью вследствие низкого температурного потенциала в основном используются для подогрева или охлаждения других теплоносителей [2]. Тепловая энергия отходящих газов (ОГ) ДВС, особенно с принудительным зажиганием, имеет достаточно высокий потенциал (температура ОГ на выходе из двигателя может лежать в диапазоне 400...600 °С), и поэтому может успешно использоваться в различных схемах утилизации. Такие схемы утилизации тепла ОГ получили распространение для дизельных ДВС в судовой и стационарной энергетике, где используются как для обеспечения теплом потребителей, так и для получения дополнительной работы [3–6]. Утилизация тепла ОГ двигателей с принудительным зажиганием менее распространена в связи со спецификой применяемых двигателей (в основном наземный транспорт), и поэтому представляет большой интерес.

Для двигателей с принудительным зажиганием одним из перспективных способов утилизации теплоты ОГ является термохимическая утилизация (ТХУ). Данный способ утилизации основан на использовании тепла ОГ для осуществления эндотермической реакции химического превращения углеводородного топлива в синтез-газ (основными компонентами являются CO и H₂). В результате реакции конверсии углеводородного топлива теплота сгорания синтез-газа увеличивается на величину утилизированной энергии отходящих газов [7, 8]. Полученный синтез-газ может полностью заменять базовое топливо, или использоваться в качестве добавки к нему [9, 10].

Для реализации данного способа утилизации необходимо выполнение определенных условий: температура ОГ на входе в термохимический реактор должна превышать температуру реакции конверсии топлива, тепловая мощность ОГ должна обеспечить получение необходимого количества синтез-газа для работы ДВС [11, 12]. Степень эффективности утилизации теплоты ОГ обусловлена температурой процесса конверсии, теплотой химической реакции, свойством исходного топлива, составом полученного синтез-газа, тепловой мощностью ОГ ДВС и др.

2. Изложение

Для исследования основных параметров работы двигателя при использовании ТХ тепла ОГ, а также определения эффективности применения данного способа утилизации в лаборатории перспективных энергетических технологий Национального университета кораблестроения имени адм. Макарова (Николаев, Украина) была создана экспериментальная установка на базе четырехтактного двигателя с принудительным зажиганием 1Ч 6,8/5,4 (ТЕ 200) и термохимическим реактором утилизации теплоты ОГ. Основные параметры двигателя 1Ч 6,8/5,4 приведены в таблице. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

| № п.п. | Параметр | Единица измерения | Значение |
|--------|-------------------------------------|-------------------|----------|
| 1 | Количество цилиндров | шт. | 1 |
| 2 | Рабочий объем цилиндров | см ³ | 196 |
| 3 | Диаметр цилиндра | мм | 68 |
| 4 | Ход поршня | мм | 54 |
| 5 | Степень сжатия | – | 8,5 |
| 6 | Частота вращения коленчатого вала | об/мин | 3000 |
| 7 | Эффективная мощность | кВт | 4,8 |
| 8 | Удельный эффективный расход топлива | кг/(кВт·ч) | 0,412 |

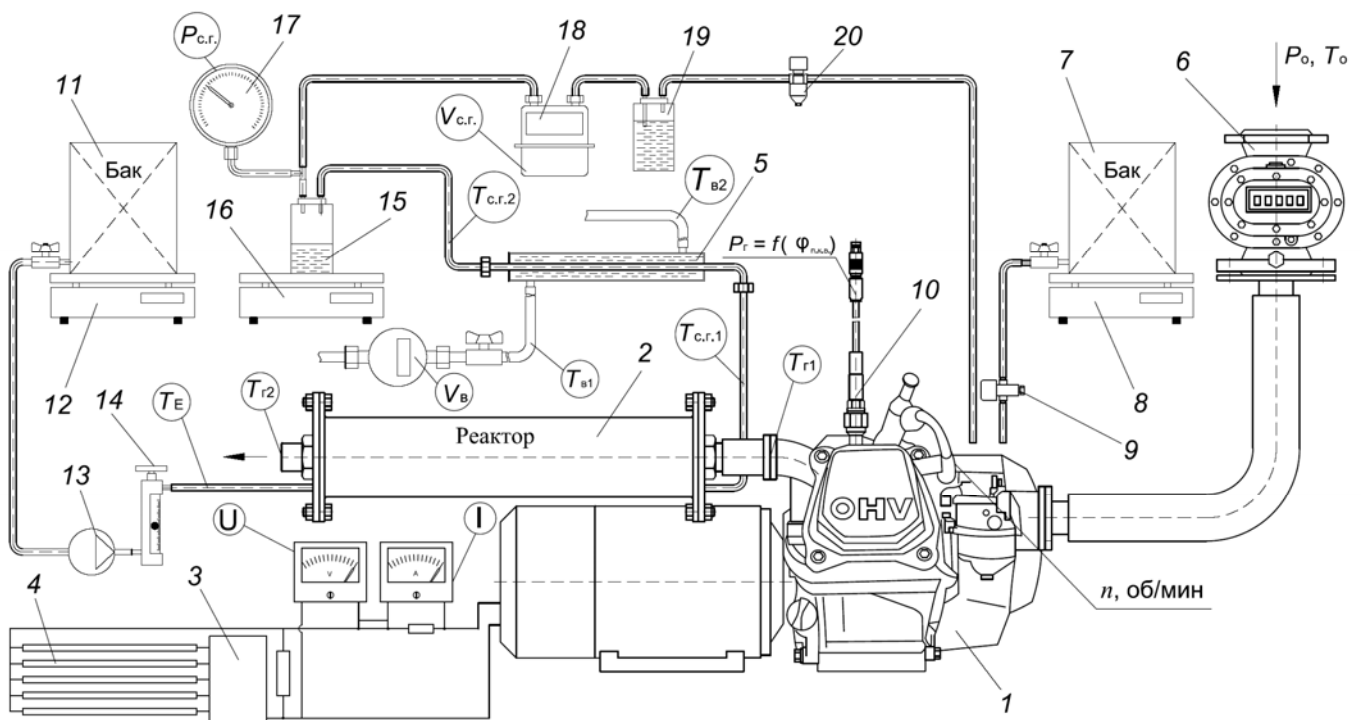


Рис. 1. Экспериментальная установка на базе двигателя с искровым зажиганием 1Ч 6,8/5,4:

1 – двигатель с искровым зажиганием 1Ч 6,8/5,4; 2 – термохимический реактор; 3 – система управления нагрузкой; 4 – блок ТЭНов; 5 – теплообменник типа «труба в трубе»; 6 – газовый счетчик РГ-40; 7, 11 – бак с этанолом; 8, 12, 16 – весы; 9 – электромагнитный клапан; 10 – датчик давления; 13 – насос подачи этанола в реактор; 14 – ротаметр; 15 – реторта сбора конденсата; 17 – манометр; 18 – газовый счетчик; 19 – водяной затвор; 20 – электромагнитный газовый клапан с фильтром

Двигатель 1Ч 6,8/5,4 может работать как на чистом этаноле, так и на газообразной смеси этанола и синтез-газа, полученной в результате ТХУ тепла ОГ. В зависимости от нагрузки двигателя и количества утилизированного тепла ОГ добавка синтез-газа к этанолу различная.

Для измерения переменного давления в цилиндре двигателя использовался датчик давления Kistler 7613C (рис. 2). Для того чтобы получить достоверную индикаторную диаграмму, чувствительный элемент датчика Kistler 7613C был максимально приближен к камере сгорания, при этом степень сжатия осталась практически без изменения.



Рис. 2. Датчик давления Kistler (модель 7613C)

В термохимическом реакторе 2 (см. рис. 1) синтез-газ получался путем термохимической конверсии этанола. Состав синтез-газа определялся химическим анализом с помощью хроматографа NeoCHROM Class B, который проходил предварительную тарировку с помощью образцовых смесей по ТУ-6-16-2956-87. 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 – $0,63 \text{ кг/м}^3$.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований основных параметров работы двигателя 1Ч 6,8/5,4 по нагрузочной характеристике при работе на чистом этаноле и с добавкой синтез-газа 2,0...3,5 % по массе.

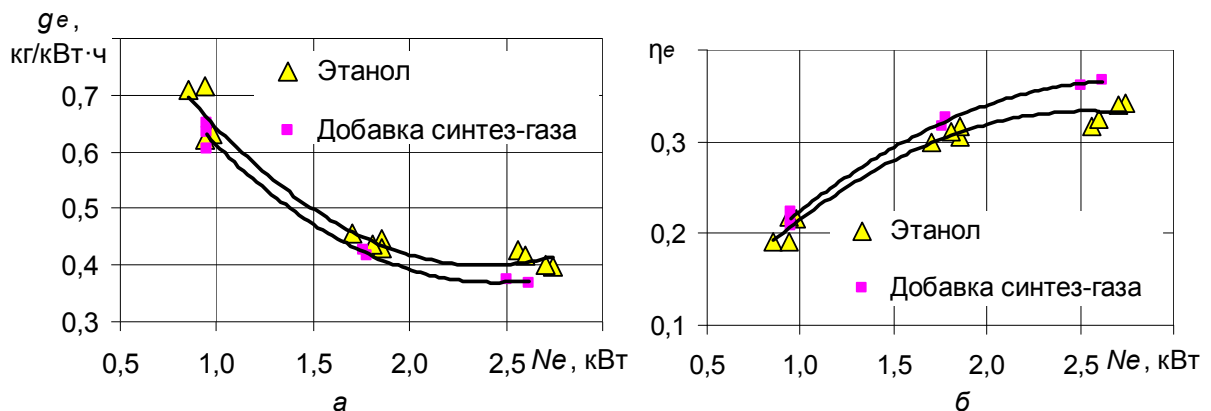


Рис. 3. Основные параметры двигателя при работе по нагрузочной характеристике на чистом этаноле и с добавкой синтез-газа:
а – удельный эффективный расход топлива; б – эффективный КПД

В зависимости от добавки синтез-газа снижение удельного эффективного расхода топлива составляет 2,5..12,4 % (см. рис. 3, а) при этом также наблюдается и рост эффективного КПД цикла (см. рис. 3, б). Снижение эффективного расхода топлива и увеличение эффективного КПД связаны, прежде всего, с увеличением теплоты сгорания, а также улучшением качества сгорания.

На рис. 4 представлен ряд индикаторных диаграммы, снятых при разных добавках синтез-газа по массе к этанолу. При этом коэффициент избытка воздуха составлял $\alpha=1,1$, а частота вращения коленчатого вала – 3000 об/мин. В результате осуществления цикла

тепловая энергия, которая выделяется при сгорании смеси синтез-газа и этанола, превращается в полезную работу, развиваемую газами в цилиндре двигателя. При этом, значение полезной работы цикла с увеличением добавки синтез-газа растет, что достаточно четко прослеживается с индикаторных диаграмм. Анализ индикаторных диаграмм (рис. 4) также показал, что наличие синтез-газа в топливовоздушной смеси приводит к увеличению максимального давления сгорания до 200 кПа и смещению его в сторону верхней мертвой точки ВМТ до 7° п.к.в. Смещение максимума сгорания в сторону ВМТ и увеличение максимального давления сгорания не приводят к более жесткой работе двигателя, так как не превышают динамических нагрузок на детали кривошипно-шатунного механизма.

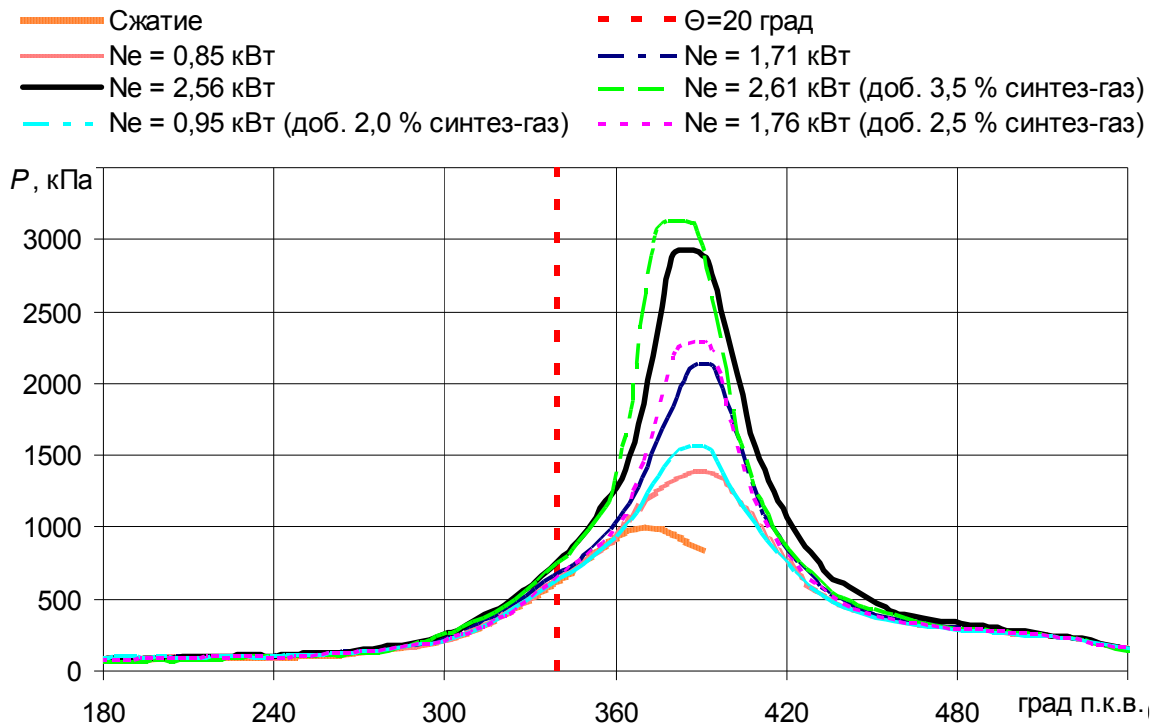


Рис. 4. Сравнение экспериментальных индикаторных диаграмм двигателя 1Ч 6,8/5,4 при работе на чистом этаноле и с добавками синтез-газа

Дальнейшее увеличение добавки синтез-газа к этанолу (более 3,5 %) без корректировки коэффициента избытка воздуха и угла опережения зажигания может негативно сказаться на работе двигателя. 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. Кроме того при добавках синтез-газа позитивное влияние на рабочий цикл оказывает учет степени сжатия, коэффициента наполнения цилиндра, фаз газораспределения, способ смесеобразования.

3. Заключение

1. При использовании добавок синтез-газа к этанолу (2,0...3,5 %) в двигателе наблюдалось стабильное бездетонационное сгорание, с незначительным увеличением максимального давления сгорания при мощности двигателя 2,6 кВт и частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин.

2. При использовании добавок синтез-газа к этанолу в диапазоне 2,0...3,5 % по массе наблюдается увеличение всех эффективных показателей работы двигателя. Так, например, снижение удельного эффективного расхода топлива составляет 2,5..12,4 %.

3. При добавках синтез-газа к этанолу (2,0...3,5 %) продолжительность сгорания уменьшается и увеличивается максимальное давление сгорания на 6,5 %, при этом максимум давления сгорания смещается в сторону ВМТ до 7° п.к.в. При значительных добавках синтез-газа к этанолу (более 3,5 %) снижения жесткости работы двигателя и обеспечения стабильного бездетонационного сгорания можно добиться путем увеличения коэффициента избытка воздуха до 1,1...1,5, а также уменьшения угла опережения зажигания.

4. Увеличение α (более 1,0) при использовании добавок синтез-газа приводит к некоторому снижению температуры ОГ, что, в свою очередь, также положительно влияет на экологические показатели ДВС. Значение температуры отработавших газов при этом находятся в пределах, способных обеспечить прохождение реакции конверсии углеводородов для получения синтез-газа.

Литература:

1. Matievskiy D. D, Logvinenko V. V., Kuzmin A. G. *Perspektivy ispolzovaniya porshnevnykh DVS v kachestve istochnika teplovoy i elektricheskoy energii dlya energosnabzheniya promyshlennykh ob'ektov*. Polzunovskiy vestnik, 2003, no. 1, 2, pp. 4–8.
2. Maslov, V. V. *Utilizatsiya teploty sudovykh dizeley*. Moscow, Transport, 1990, 144 p.
3. Kamkin S. V., Voznitskiy I. V., Bolshakov V. F. [i dr.]. *Ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh energeticheskikh ustanovok: Uchebnik dlya vuzov*. Moscow, Transport, 1996, 432 p.
4. Zaharov, G. V. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh ustanovok*. Moscow, TransLit, 2009, 256 p.
5. Voznitskiy, I. V. *Sovremennyye malooborotnyye dvuhtaknyye dvigateli*. Moscow, Morkniga, 2009, 256 p.
6. Rudnev, V. V. *Povyshenie ekonomicheskikh i ekologicheskikh pokazateley dizel-generatornykh ustanovok utilizatsiey teploty otrabotavshikh gazov v dvigatele s vnutrennim ob'emnym smeseobrazovaniem : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.04.02*. Chelyabinsk, 2007, 123 p.
7. Hripach N. A., Kamenev V. F., Fomin V. M. [i dr.]. *Termodinamicheskyy analiz rabocheho tsikla dvigatelya s termohimicheskim generirovaniem vodorodnogo topliva*. Alternativnaya energetika i ekologiya, 2006, no 4 (36), pp. 45–50.
8. Timoshevskiy B. G., Tkach M. R., Proskurin A. Yu. *Effektivnost termohimicheskoy konversii uglevodorodnykh topliv primenyaemykh v DVS*. Visnik NUK, 2011, no. 3, pp. 36–42.
9. Nosach, V. G., Shrayber A. A. *Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya prirodnogo gaza v teploenergetike s pomoschyu termohimicheskoy regeneratsii*. Promyshlennaya teplotehnika, 2009, V. 31, no. 3. – pp. 42–50.
10. Kirillov V. A., Kuzin N. A., Kireenkov V. V. [i dr.] *Primenenie sintez-gaza v kachestve dobavki k osnovnomu toplivu v transportnykh sredstvakh: sostoyanie i perspektivy*. Teoreticheskie osnovy himicheskoy tekhnologii, 2011, no. 2 (45), pp.139–154.
11. Timoshevskiy B. G., Tkach M. R., Mitrofanov O. S., Poznanskiy A. S., Proskurin A. Yu. *Eksperimentalne doslidzhennya parametriv porshnevo DVZ iz sistemoy termohimichnoyi konversiyi bioetanolu*. Dvigateli vnutrennego sgoraniya : Vseukrainskiy nauchno-tehnicheskyy zhurnal, 2011, no. 2, pp. 3–8.
12. Tkach M. R., Timoshevskiy B. G., Mitrofanov A. S., Poznanskiy A. S., Proskurin A. Yu. *Harakteristiki eksperimentalnoy sistemy konversii bioetanola DVS 2Ch 7,2/6*. Dvigateli vnutrennego sgoraniya : Vseukrainskiy nauchno-tehnicheskyy zhurnal, 2013, no. 1, pp. 28–32.

За контакты: 1. Митрофанов Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru.

2. Проскурин Аркадий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua.

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