

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ИСКРОВОГО ДВС С СИСТЕМОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ БИОЭТАНОЛА

Борис Тимошевский, Михаил Ткач, Александр Митрофанов, Андрей Познанский, Аркадий Проскурин

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова
54025, г. Николаев, просп. Героев Сталинграда, 9*

Boris Timoshevsky, Mikhail Tkach, Aleksandr Mitrofanov, Andrey Poznansky, Arkadiy Proskurin

*National University of Shipbuilding named after admiral Makarov
54025, Nikolaev, ave. Heroes of Stalingrad, 9*

Аннотация. Описано конструкцию и принцип действия экспериментальной установки для исследования особенностей работы искрового двигателя с системой термохимической паровой конверсии биоэтанола. Определены основные энергетические показатели термохимического реактора, а также свойства синтез-газа при различном составе и расходе смеси, мощности реактора. Проведен сравнительный анализ индикаторных диаграмм при работе двигателя на синтез-газе, пропане и бензине.

Ключевые слова: биоэтанол, паровая конверсия, реактор, синтез-газ, индикаторная диаграмма.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сегодня топлива нефтяного происхождения являются главными источниками энергии в ДВС. По оценкам специалистов, запасы нефти будут практически полностью исчерпаны в ближайшие 50-60 лет [1]. Поэтому особое внимание в современном двигателестроении уделяется разработке технологий использования альтернативных источников энергии [2-4]. Одним из широко используемых в ДВС альтернативных топлив является биоэтанол [5,6]. Перспективным на сегодняшний день способом использования биоэтанола в ДВС является термохимическая конверсия. Несмотря на простоту и возможность решения большого числа проблем на основе этого способа, ряд теоретических и практических вопросов, связанных с его реализацией в ДВС остается еще малоизученными.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Термохимическая конверсия биоэтанола позволяет не только улучшить топливно-

экономические и экологические характеристики, но и кинетические показатели процесса сгорания. Этот способ реализуется следующим образом: под влиянием теплоты, которая отбирается от отходящих газов двигателя в термохимическом реакторе происходит эндотермическая реакция химического превращения биоэтанола, в результате которой образуется синтез-газ – смесь CO и H₂. Химическая энергия полученного синтез-газа превышает энергию использованного биоэтанола на величину равную количеству утилизированной теплоты отходящих газов, которая вместе с полученным топливом вводится в двигатель для повторного участия в организации рабочего процесса. В данном случае термохимический реактор выполняет функцию устройства утилизации. Этот способ был предложен еще в 60-е годы при решении задачи об утилизации теплоты продуктов сгорания из каналов МГД-генератора. Затем он был распространен и на другие типы теплоэнергетических и технологических установок [7]. Сейчас большинство исследований посвящено применению термохимической конверсии на двигателях малой мощности, которые используют метанол [8], метан [9] и биогаза [10]. Первичная оценка эффективности термохимической конверсии биоэтанола может быть установлена при сравнении теплотворной способности жидкого биоэтанола и газообразных продуктов его конверсии. Так при сгорании 1 кг жидкого биоэтанола выделяется 26,78 МДж тепловой энергии. А продукты конверсии той же массы биоэтанола выделяют 34,87 МДж, то есть на 23,2% больше. Увеличение теплотворной способности синтез-газа относительно исходного биоэтанола объясняется тем что в систему вносится дополнительное количе-

ство энергии (теплота реакции конверсии), что не противоречит положениям термодинамики [11].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – создание экспериментального стенда для исследования особенностей работы двигателя, который работает на синтез-газе, полученного путем паровой конверсии биоэтанола.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При проектировании энергетической установки с системой термохимической конверсии биоэтанола необходимо одновременное выполнение 2 условий, которые определяют границы ее эффективного использования:

1) система термохимической конверсии в широком диапазоне температур отходящих газов должна обеспечивать максимальную степень превращения (конверсии) биоэтанола в синтез-газ;

2) синтез-газ, на котором работает двигатель, не должен ухудшать энергетические, эксплуатационные и экологические характеристики его работы.

Также особое внимание уделяется вопросам проектирования высокоэффективного термохимического реактора и изучению особенностей рабочего цикла ДВС, работающего на смеси газов CO и H₂.

С целью детального изучения этих вопросов в Центре Перспективных энергетических технологий Национального Университета Кораблестроение имени адмирала Макарова была разработана и сконструирована экспериментальная установка, с помощью которой исследуются особенности работы искрового двигателя с системой термохимической конверсии биоэтанола. Экспериментальная установка состоит из ряда систем:

1) Системы по исследованию параметров процесса паровой конверсии биоэтанола в термохимической реакторе;

2) Системы по исследованию параметров рабочего процесса ДВС с искровым зажиганием, работающем на синтез-газе;

3) Системы измерений;

4) Системы автоматики и регулирования.

Система по исследованию параметров процесса конверсии оборудована регулирующими органами с дистанционным управлением, штатными измерительными прибо-

рами, контрольными измерительными приборами и подсистемой первичных датчиков для обеспечения автоматизации проведения эксперимента. Экспериментальная установка (Рис. 1) состоит из: подсистемы подачи биоэтанола в термохимический реактор (ТХР) ТХР 6 и устройств подвода энергии к нему (подвод тепла ОГ ДВС с температурой 500 ... 600 °С необходимого для протекания реакции имитируется путем пропускания через реактор постоянного тока от источника питания 5 напряжения 27 В), подсистемы охлаждения и конденсации продуктов конверсии, подсистемы закачки синтез-газа в баллоны и подсистемы измерений, которая позволяет измерять расхода, давления, плотности и температуры всех теплоносителей, а также электрическую нагрузку на термохимический реактор.

Подача биоэтанола в ТХР 6 осуществляется с помощью электрического насоса 3. Скорость протекания реакции осуществляется путем установления необходимого значения расхода биоэтанола на ротаметре 4. Охлаждение продуктов конверсии и очистка от остатков воды и не прореагировавшего спирта обеспечивается с помощью конденсатора 8, который охлаждается проточной водой. Расход воды фиксируется с помощью водяного счетчика 7. Конденсатор представляет собой теплообменный аппарат типа труба в трубе с общим противотоком. Водяной пар и не прореагировавшие элементы, собираются в реторте с сконденсированной смесью 9. Количество прореагировавшего биоэтанола определяется путем взвешивания реторты 1 с биоэтанолом до начала эксперимента и после окончания эксперимента с помощью электронных цифровых весов 2. Количество сконденсированной смеси, после охлаждения в конденсаторе также определяется путем взвешивания с помощью электронных цифровых весов 10. Перепад давления синтез-газа замеряем с помощью расходомерной шайбы 11. Объем полученного синтез-газа фиксируется с помощью газового счетчика 12. С целью предотвращения возгорания синтез-газа перед ресивером с синтез-газом установлено водяной затвор 13. Полученный синтез-газ с помощью компрессора 14 набивается в баллон 15, где он и хранится.

На начальном этапе исследования были поставлены следующие задачи:

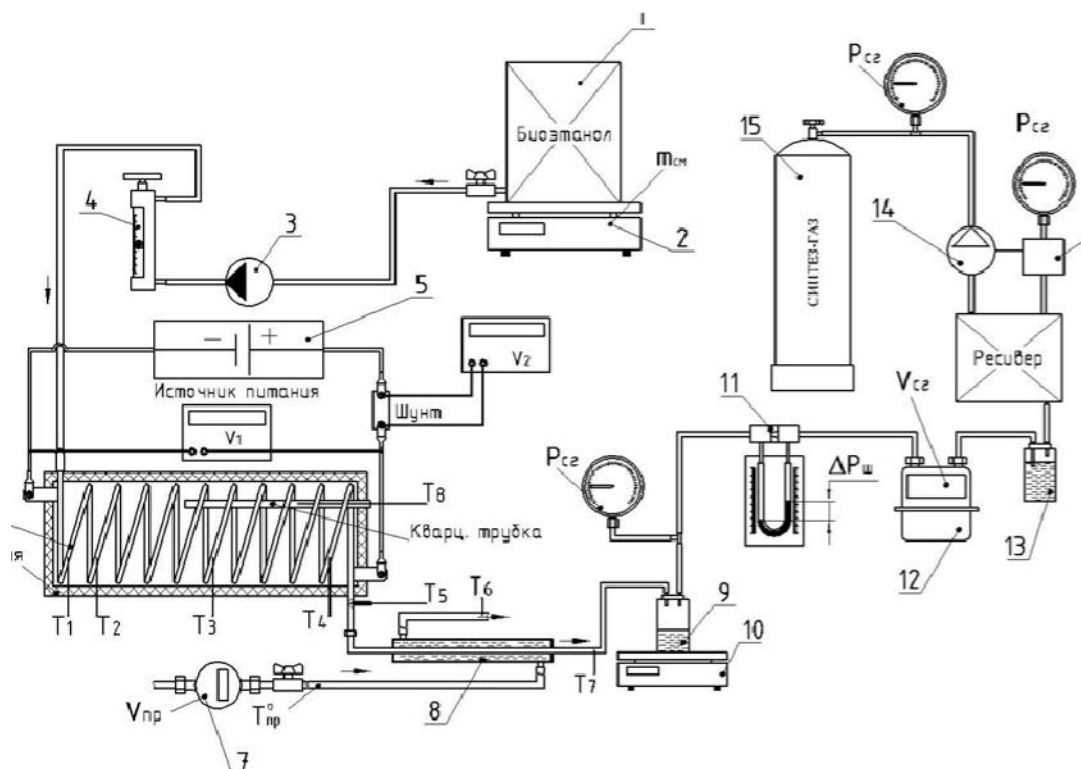


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки по исследованию параметров процесса конверсии биоэтанола

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup used to study of bio-ethanol conversion parameters

На начальном этапе исследования были поставлены следующие задачи:

1) Определение характера изменения температур стенки $T_{ст}$ по длине реактора L ;

2) Определение свойств синтез-газа при различном составе и расходе смеси, мощности реактора;

3) Определение энергетических показателей реактора паровой конверсии биоэтанола.

При проведении экспериментов было исследовано 3 смеси с различным объёмным содержанием биоэтанола – 27%, 39%, 60%. Мощность реактора составляла 1,5 кВт, а расход смеси изменялся от 1,1 до 1,5 кг/ч. Были получены следующие результаты:

– зависимость степени конверсии биоэтанола от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»;

– зависимость средней температуры стенки по длине реактора от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»;

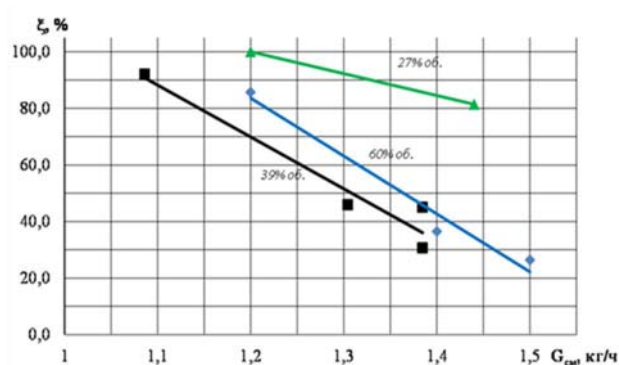


Рис. 2. Зависимость степени конверсии биоэтанола от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»

Fig. 2. Bioethanol conversion vs. rate at different composition of the mixture of "bio-ethanol-water"

– зависимость плотности синтез-газа от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»;

– зависимость расчетной теплоты сгорания синтез-газа от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода».

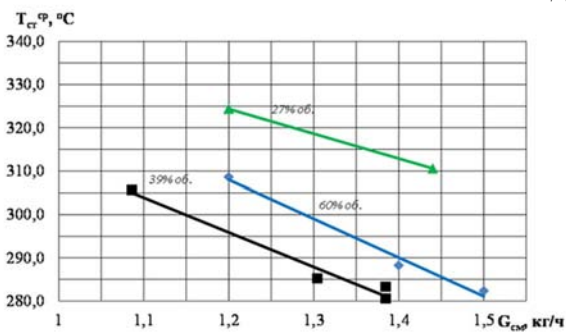


Рис. 3. Зависимость средней температуры стенки по длине реактора от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»

Fig. 3. Average wall temperature along the reactor vs. rate at different composition of the mixture of "bio-ethanol-water"

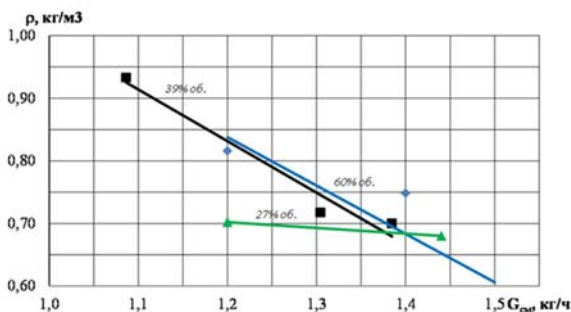


Рис. 4. Зависимость плотности синтез-газа от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»

Fig. 4. Density synthesis-gas vs. rate at different composition of the mixture of "bio-ethanol-water"

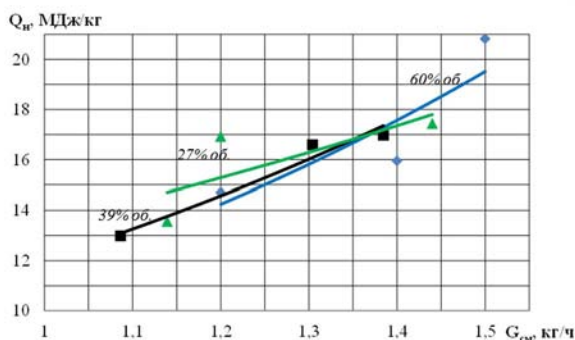


Рис. 5. Зависимость расчетной теплоты сгорания синтез-газа от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»

Fig. 5. Calculated heat value vs. rate at different composition of the mixture of "bio-ethanol-water"

Таким образом определены основные показатели процесса паровой конверсии био-

этанола при различных режимах, которые моделируют работу ДВС.

Также необходимо выполнить на моторном стенде комплексные исследования процесса термохимической конверсии биоэтанола как средства утилизации тепла выпускных газов ДВС с целью определения показателей эффективности установки в целом.

Система по исследованию параметров рабочего процесса ДВС, работающем на синтез-газе (Рис. 6.) разработана на базе двигателя УД-25 (2Ч 7,2/6) с внешним смесеобразованием. Это четырехтактный бензиновый двигатель, который переоборудовано на газовое топливо, работающий на трехфазный генератор переменного тока.

Из баллонов 1, расположенных в отдельном помещении, синтез-газ поступает в общий ресивер 2 и через редуктор низкого давления 5 и счетчик газа 7 поступает в двигателя 10. Расход синтез-газа определяется с помощью газового счетчика 7, установленного после редуктора низкого давления 5. Двигатель 2Ч 7,2/6 нагруженный штатным трехфазным электрогенератором переменного тока. Полученная электрическая энергия через систему управления нагрузкой 14 идет на блок ТЭНов 15.

Значения тока и напряжения определяется в каждой фазе отдельно с помощью переключателя и фиксируется на панели приборов 18 при помощи вольтметра 16 и амперметра 17. Также на панели 18 установлены следующие измерительные приборы: тахометр для определения оборотов коленчатого вала двигателя 20; приборы для измерения температуры отработавших газов по цилиндрам 19.

Для определения расхода воздуха через двигатель на входе установлена расходомерная шайба (Лемниската) 26 с U-образным манометром 27 для фиксации перепада давления.

Для того чтобы получить достоверную индикаторную диаграмму чувствительный элемент 24 датчика Kistler 7613С, был максимально приближен к камере сгорания.

Датчик был ввернут в головку двигателя через переходник при этом была сохранена степень сжатия в этом цилиндре. Результаты замеров индикаторного давления

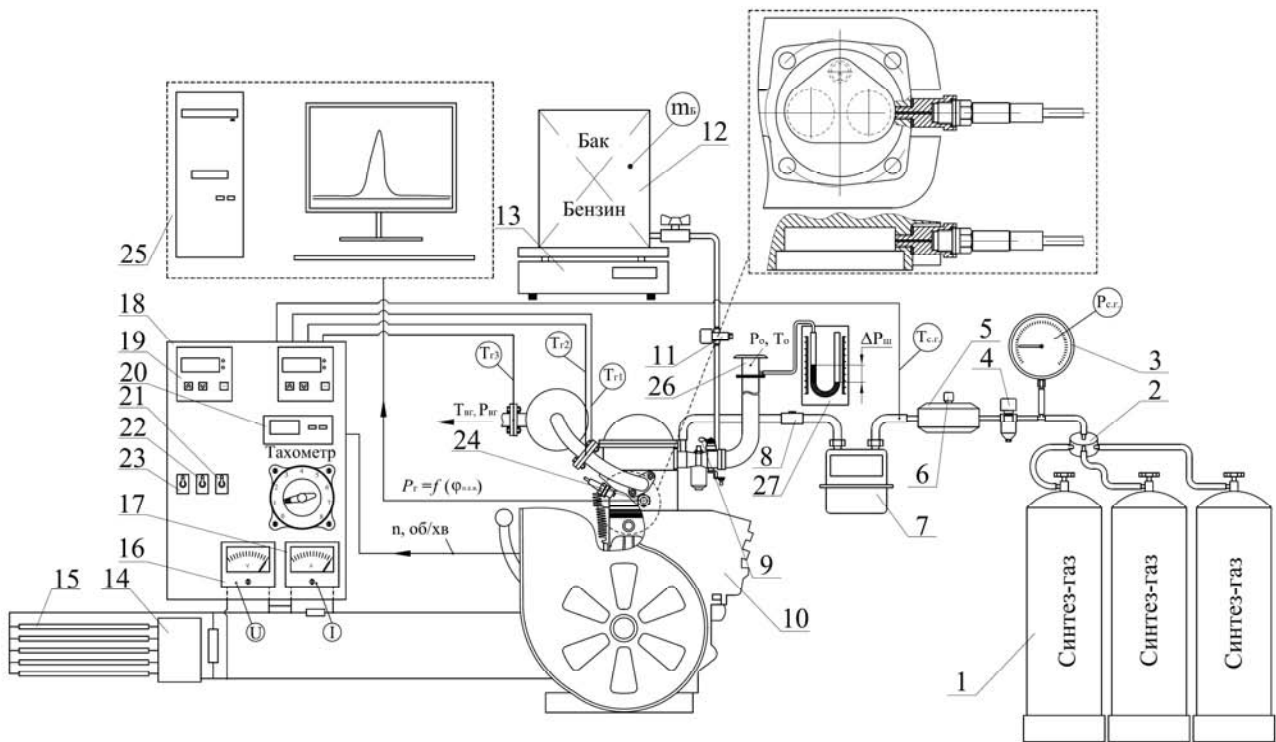


Рис. 6. Принципиальная схема системы по исследованию параметров работы ДВС
 Fig. 6. Schematic diagram of the system used to study of ICE parameters

передавались и обрабатывались на ПК 25. Через глушитель отработанные газы уходят в окружающую среду.

В условиях экспериментального стенда, при наладочных испытаниях двигателя 2Ч 7,2/6 на бензине, пропане и синтез-газе плотностью 0,63 кг/м³ (43% водорода, 34% оксида углерода, 23 % метана) получены зависимости изменения основных параметров работы двигателя (рис. 7), а также индикаторные диаграммы (рис. 8) при работе по нагрузочной характеристике.

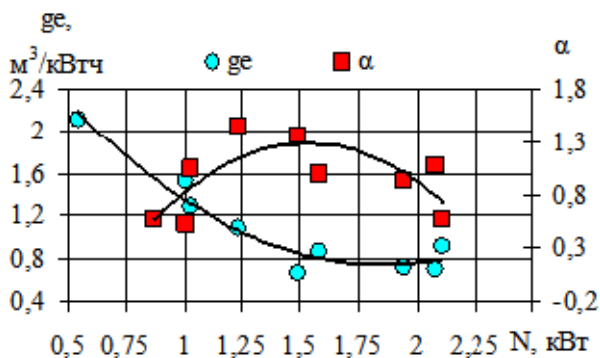


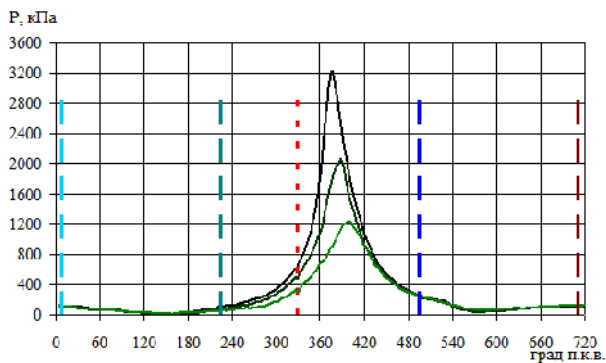
Рис. 7. Параметры работы двигателя по нагрузочной характеристике на синтез-газе
 Fig. 7. Settings for the engine load characteristic to the synthesis gas

Содержание водорода в составе синтез-газа, при работе двигателя с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1$ обуславливает более жесткую работу, а также происходит смещение максимума сгорания на 8...11° в сторону ВМТ.

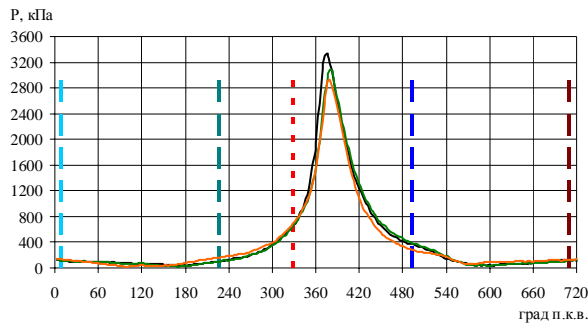
При работе двигателя на синтез-газе вследствие увеличиваются пределы воспламенения топливовоздушной смеси, это в свою очередь приводит к увеличению индикаторного КПД и снижению расхода топлива. Увеличение индикаторного КПД цикла при увеличении α связано прежде всего с снижением теплоемкости и теплосодержания продуктов сгорания, что в свою очередь уменьшает долю термодинамических потерь [12,13].

Увеличение α при использовании синтез-газа приводит также к некоторому снижению температуры отходящих газов, что в свою очередь положительно влияет на экологические показатели ДВС.

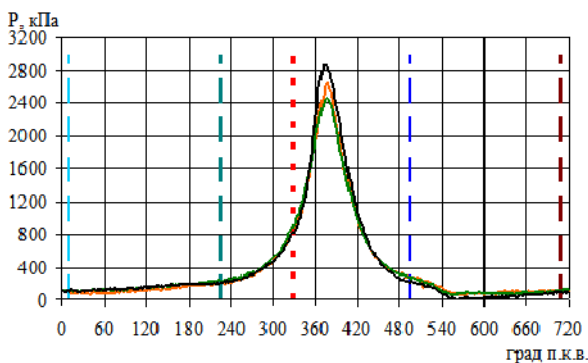
Результаты, полученные в условиях экспериментального стенда, достаточно хорошо согласуются с результатами других авторов [14-16], что позволяет сделать вывод о работоспособности стенда в целом и адекватности полученных данных.



а



б



в

Рис. 8. Экспериментальные индикаторные диаграммы двигателя:

а – бензин; б – пропан; в – синтез-газ

Fig. 8. The experimental indicator diagrams of the engine: а – petrol; б – propane; в – synthesis gas

ВЫВОДЫ

Определены основные показатели процесса паровой конверсии биоэтанола при различных режимах, которые моделируют работу ДВС. Экспериментально установлено, что вследствие низкой теплотворной способности синтез-газа и малой плотности водорода, доля которого в составе синтез-газа значительная, наблюдается уменьшение мощности двигателя до 40% по сравнению с использованием обычного бензина. Значение температуры отработавших газов при использовании обычного топлива и синтез-газа нахо-

дятся в пределах, способных обеспечить прохождение реакции конверсии биоэтанола для получения синтез-газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Danilov A. 2003. Al'ternativnye topliva: dostoinstva i nedostatki. Problemy primeneniya / A. Danilov, J. Kaminskij, V. Havkin // Ros. himicheskij zhurnal ob-va im. D. Mendeleeva. – Т. 47, № 6. – 4–11.
2. Shkalova V. 1986. Primenenie netradicionnyh topliv v dizel'jah / V. Shkalova. – М. : NIAD, – 85.
3. Polishhuk V. 2012. Al'ternativnye dizel'nye topliva / V. Polishhuk, V. Dubrovin, A. Polishhuk // Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva. – Lublin, 2012. – Tom 14. – №1. — 20–32.
4. Pavlenko M. 2011. Analiz metodiv znevodnennija dizel'nogo biopaliva / M. Pavlenko // Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva. – Lublin, 2011. – Tom 13V. – 62–66.
5. Havrysh V. 2008. An analysis of economic efficiency of bioethanol use as a motor fuel / V. Havrysh, V. Pilip // Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva. – Lublin. – Tom 10V. – 44–53.
6. Tret'jakov V. 2008. Biojetanol – strategija razvitija toplivnogo i neftehimicheskogo kompleksa / V. Tret'jakov // Himicheskaja tehnika. — № 1. – 8–12.
7. Nosach V. 1989. Jenergija topliva / V. G. Nosach. – Kiiv : Nauk. dumka, – 148.
8. Kamenev V. 2005. Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija raboty dvigatelja na dizel'novodorodnyh toplivnyh kompozicijah / V. Kamenev, V. Fomin, N. Hripach // Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. — №7. – 32–42.
9. Nosach V. 2009. Povyszenie jeffektivnosti ispol'zovanija prirodnogo gaza v teplojenergetike s pomoshh'ju termohimicheskoy regeneracii / V. Nosach, A. Shrajber // Pro-myshlennaja teplotehnika. – Т. 31, №3. – 42–50.
10. Nosach V. 2009. Povyszenie jeffektivnosti ispol'zovanija biogaza v teplojenergeticheskikh ustanovkah s pomoshh'ju termohimicheskoy regeneracii / V. Nosach, A. Shrajber // Promyshlennaja teplotehnika. – Т. 31, №2. – 57–63.

11. Spravochnik po himii: uchebnoe posobie / L. Blinov, I. Perfilova, L. Jumasheva, R. Chuviljaev. – K.: Prospekt, 2011. – 160.
12. Glagolev N. 1934. Ispytanie gazovyh dvi-gatelej / N. Glagolev. – Har'kov ; K. : Gos. nauch.-tehn. izd-vo Ukrainy,– 426.
13. Genkin K. 1977. Gazovye dvigateli / K. Genkin. – M. : Mashinostroenie,– 196.
14. Analiz i matematicheskoe modelirovanie processa sgoranija vodoroda v chetyreh-taktnom odnocilindrovom dvigatele s is-krovym vosplameneniem / A. Marchenko, A. Osetrov, I. Dubej, R. Maamri // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2010. – № 1. – 24–28.
15. Shudo T. 2004. Influence of Reformed Gas Composition on HCCI Combustion of Onboard Methanol-Reformed Gases / T. Shudo, T. Takahashi // SAE Technical Paper Series. — 8–10 June. – 23–31.
16. Shudo T. 2004. Influence of Reformed Gas Composition on HCCI Combustion of Onboard Methanol-Reformed Gases / T. Shudo, T. Takahashi // SAE Technical Paper Series. — 8–10 June. – 23–31.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF WORK SPARK ICE WITH BIOETHANOL STEAM THERMOCHEMICAL CONVERSION

Summary. It is described a construction and an operating principle of the experimental plant for spark engine operation study with system of bioethanol steam thermochemical conversion. The main energy indicators of thermochemical reactor and the properties of the synthesis gas with a different composition, flow of the mixture and the reactor power are received.

Key words: bioethanol, steam conversion, reactor, synthesis-gas, the indicator diagram.