

Швець Ігор Анатолійович – викладач Первомайського політехнічного інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала С.Й.Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: asistent2011@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЧЕРЕЗ УСТРОЙСТВО СМЕШЕНИЯ

И.А. Швець

Рассмотрены вопросы определения выходных параметров газо-воздушного потока как первый этап численного моделирования. Приведенные математические зависимости значительно упрощают получение численных значений выходных параметров и, соответственно, входных для работы с CFD комплексами. Исходные параметры, которые подлежат определению, перед численным моделированием есть перепад давления в устройстве смешения и скорость потока на выходе. Рассмотрены основные допущения, применимые при работе с математическими зависимостями и отмечено их влияние на точность получения исходных параметров газового потока.

METRICS SPECIFICATION OF GAS-AIR FLOW MOVING THROUGH MIXING DEVICE

I. A. Shvets

The problems of determining the output parameters of the gas-air flow as the first stage of the numerical simulation are considered. These mathematical relationships are much easier to obtain numerical values as junction parameters and input respectively to work with CFD systems. Baseline parameters that must be determined before the numerical simulation is the pressure drop in the mixing device and the flow rate at the outlet. The basic assumptions are applicable when dealing with mathematical relations and noted their influence on the accuracy of the initial parameters of the gas flow.

УДК 621.438

М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевский, А.С. Митрофанов, А.С. Познанский, А.Ю. Проскурин

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНВЕРСИИ БИОЭТАНОЛА ДВС 2Ч 7,2/6

Представлены принцип действия и конструктивные особенности экспериментальной установки ТХР-2.0, предназначенной для исследований паровой конверсии биоэтанола в синтез-газ в термохимическом реакторе. Определены основные конструктивные и энергетические показатели реактора на характерных режимах. Минимальная температура, при которой была достигнута 100% конверсия биоэтанола, составила 620 °С при использовании смеси с 54% содержанием биоэтанола. Эффективная мощность реактора в зависимости от состава смеси составляла 252...333 Вт.

Постановка проблемы

Постоянное повышение стоимости нефтяных топлив и их ограниченные запасы приводят к необходимости решения двуединой задачи - поиск новых видов топлива и принципов более эффективного использования этих топлив в энергетических установках. Одним из путей ее решения является использование продуктов термохимической конверсии биоэтанола в качестве топлива тепловых двигателей.

Использование биоэтанола в качестве топлива в тепловых двигателях достаточно подробно изучены отечественными и иностранными специалистами. Биоэтанол в основном используется в автомобильных двигателях с искровым зажиганием в качестве добавки к бензину (Е10, Е25) или в качестве основного топлива [1].

Большая часть биоэтанола производится из кукурузы (США) и сахарного тростника (Бразилия). Наиболее целесообразным с экономической точки зрения сырьем для производства биоэтанола в Украине является кукуруза [2]. Биоэтанол обес-

печивает высокие антидетонационные свойства и пониженное содержание токсичных веществ в отработавших газах [3]. Недостатками биоэтанола являются пониженная теплота сгорания ($Q_n = 26,78$ МДж/кг), высокая теплота испарения ($Q_i = 870$ кДж/кг) и низкое давление насыщенных паров ($p_n = 12,2$ кПа) [4].

Термохимическая конверсия биоэтанола позволяет улучшить не только топливно-экономические и экологические характеристики ДВС, но и кинетические показатели процесса сгорания топлива внутри цилиндра.

В энергетических установках с ДВС необходимая энергия для осуществления реакции конверсии может быть получена при утилизации тепла отходящих газов двигателя [5,6]. В результате конверсии химическая энергия полученного синтез-газа превышает энергию исходного биоэтанола на величину утилизованной энергии отходящих газов в реакторе, которая таким образом регенерируется.

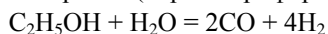
Большинство известных исследований посвящено конверсии традиционных топлив применительно к топливным элементам, что предполагает максимальный выход водорода [7]. В качестве исходного топлива чаще всего используют метан [8], пропан [9] и метанол [10].

Цель работы – исследование характеристик системы термохимической конверсии биоэтанола применительно к высокооборотному ДВС.

Изложение основного материала

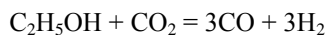
Конверсия биоэтанола в синтез-газ может быть осуществлена тремя известными методами [11]:

паровой конверсией (паровой риформинг)



$$\Delta H_{298} = + 256 \text{ кДж/моль,}$$

углекислотной конверсией («сухой» риформинг)



$$\Delta H_{298} = + 297 \text{ кДж/моль}$$

и разложением



$$\Delta H_{298} = + 50 \text{ кДж/моль.}$$

В поршневых ДВС целесообразно применять метод паровой конверсии. Реакция углекислотной конверсии по сравнению с паровой конверсией обладает большим эндотермичным эффектом, а реакция разложения обладает небольшим энергетическим потенциалом [11].

Первичная оценка эффективности термохимической конверсии биоэтанола может быть проведена путем сравнения теплотворной способности

жидкого биоэтанола и газообразных продуктов его конверсии. Так при сгорании 1 кг жидкого биоэтанола выделяется 26,78 МДж тепловой энергии, а продукты его паровой конверсии могут уже выделить 34,87 МДж (на 23,2% больше) [12]. Увеличение теплотворной способности полученного синтез-газа по сравнению с исходным биоэтанолом является следствием внесения в систему дополнительного количества энергии (теплота реакции конверсии) и не противоречит закону сохранения энергии [13].

При разработке энергетической установки с системой термохимической конверсии биоэтанола особое внимание уделяется вопросам проектирования высокоэффективного реактора, который в широком диапазоне температур отходящих газов должен обеспечивать необходимую степень конверсии биоэтанола в синтез-газ.

С целью детального изучения этих вопросов в центре «Перспективные энергетические технологии» Национального Университета Кораблестроение имени адмирала Макарова создана экспериментальная установка – ТХР-2.0, позволяющая исследовать особенности процесса получения синтез-газа из биоэтанола в термохимическом реакторе.

Экспериментальная установка состоит из ряда систем (рис. 1.):

- 1) по исследованию параметров процесса паровой конверсии биоэтанола в термохимической реакторе;
- 2) измерений;
- 3) автоматики и регулирования.

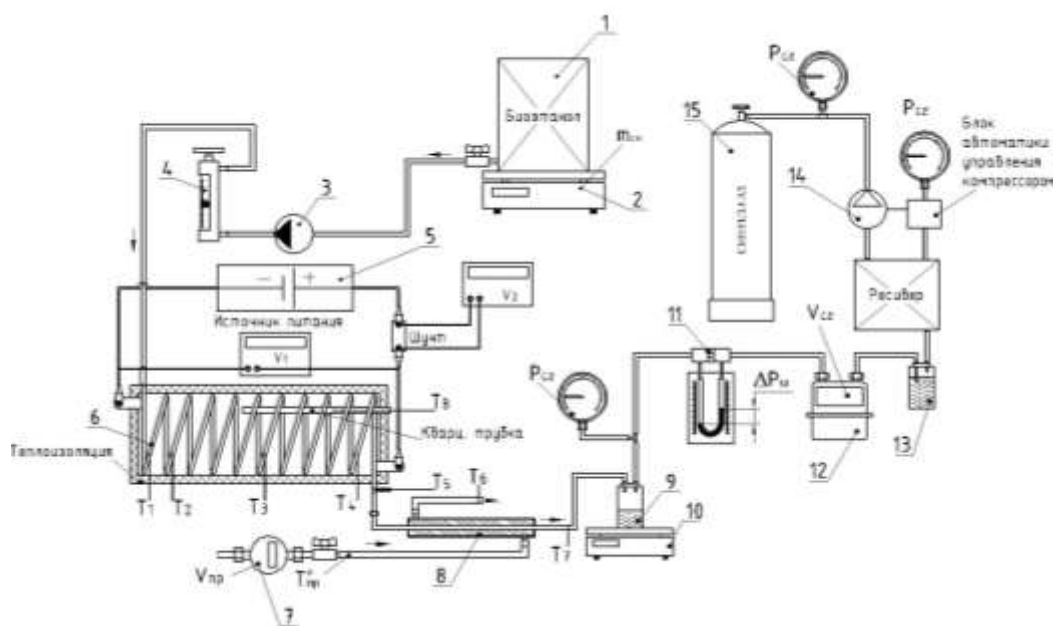


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки ТХР-2.0

Система по исследованию параметров процесса паровой конверсии биоэтанола в термохимическом реакторе состоит из подсистемы подачи биоэтанола в термохимический реактор (ТХР), и устройств подвода энергии к нему, подсистемы охлаждения, подсистемы конденсации продуктов конверсии и закачки синтез-газа в баллоны. 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 24...31 В. Подсистема измерений позволяет измерять расхода, давления, плотности и температуры всех теплоносителей, а также электрическую нагрузку на термохимический реактор.

Подача биоэтанола в ТХР 6 осуществляется с помощью насоса 3 с электрическим приводом постоянного тока. Расход биоэтанола контролируют ротаметром 4. Охлаждение продуктов конверсии и очистка от остатков воды и не прореагировавшего этанола обеспечивается в теплообменнике 8 типа «труба в трубе» ($L = 5$ м, $d_{\text{вн}} = 7,8$ мм, материал – сталь 12Х18Н10Т), который охлаждается проточной водой. Расход воды фиксируется с помощью водяного счетчика 7 (Ду 15 VALTEC). Водяной пар и не прореагировавшие компоненты, собираются в реторте сконденсированной смеси 9. Количество прореагировавшего биоэтанола определяется весовым способом путем взвешивания реторты 1 с биоэтанолом до начала эксперимента и после его окончания на электронных цифровых весах ВТА-60/6-7-А 2. Количество сконденсировавшейся смеси, после охлаждения в конденсаторе определяется путем взвешивания с помощью электронных цифровых весов 10 (JKH-1000). Мгновенный расход синтез-газа замеряют по перепаду на расходомерной шайбе 11. Объем полученного синтез-газа фиксируется газовым счетчиком 12 (Gallus 2000), прошедшим индивидуальную тарировку. Перед ресивером с синтез-газом установлен водяной затвор 13. Полученный синтез-газ с помощью компрессора 14 (САJ 4492 А) набивается в баллон 15 ($V_0 = 50$ л), где он и хранится.

В процессе исследований решались следующие задачи:

- определение энергетических показателей реактора паровой конверсии биоэтанола;
- определение характера изменения температур стенки $T_{\text{ст}}$ по длине реактора L ;
- определение свойств синтез-газа в зависимости от состава и расхода смеси, а также мощности реактора;

Исследовано 4 смеси с различным объемным содержанием биоэтанола – 54%, 46%, 39% и 25%.

Мощность реактора составляла 1,5 кВт, а расход смеси достигал 1,2 кг/ч. Главным условием было достижение 100% конверсии биоэтанола. В результате исследований выявлены:

- зависимость средних тепловых потерь реактора от средней температуры стенки реактора;
- зависимость максимальной температуры синтез-газа на выходе из реактора при 100% конверсии от состава смеси «биоэтанол-вода»;
- зависимость эффективной мощности реактора от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода»;
- зависимость средней температуры стенки по длине реактора от состава смеси «биоэтанол-вода»;
- зависимость плотности синтез-газа от состава смеси «биоэтанол-вода»;
- зависимость расчетной теплоты сгорания синтез-газа от расхода и состава смеси «биоэтанол-вода».

Результаты исследований приведены на рис. 2-5.

Так средние тепловые потери реактора в диапазоне температур стенки 215...528 °С составили 77...285 Вт.

При исследовании смеси с 54% объемным содержанием биоэтанола были достигнуты минимальное значение температуры (620 °С), при которой произошла 100% конверсия биоэтанола, а также максимальное значение средней интегральной температуры стенки реактора (325,3 °С). Плотность полученного синтез-газа составила 0,898 кг/м³. Расчетное значение удельной массовой теплоты сгорания синтез-газа составило 13,5 МДж/кг. Для осуществления реакции паровой конверсии затрачено наименьшее количество энергии – 252 Вт.

Выводы

1. Определены основные теплотехнические показатели реактора конверсии биоэтанола при различных режимах. Минимальная температура, при которой была достигнута 100% конверсия биоэтанола, составила 620 °С при использовании смеси с 54% содержанием биоэтанола. В этих условиях плотность полученного синтез-газа составила 0,898 кг/м³.
2. Эффективная мощность реактора в зависимости от состава смеси «биоэтанол-вода» составляла 252...333 Вт при условии одинаковой энергии нагрева реактора.
3. Расчетная удельная теплота сгорания полученного синтез-газа в зависимости от состава смеси «биоэтанол-вода» составляла 11,9...13,5 МДж/кг.

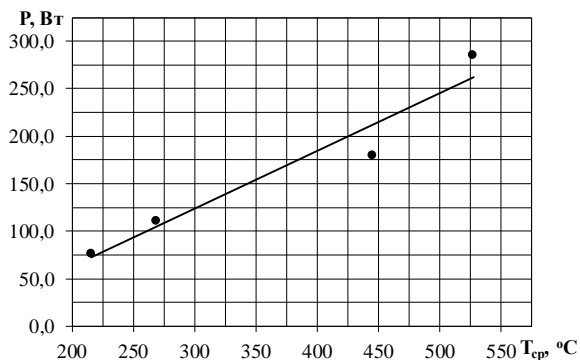


Рис. 2. Влияние средней температуры стенки трубки на тепловые потери ТХР

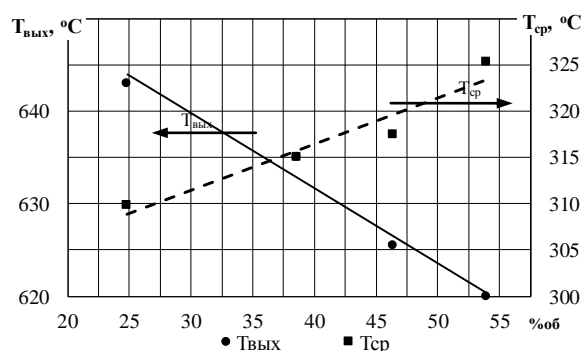


Рис. 3. Влияние состава смеси «биоэтанол-вода» на максимальную температура синтез-газа на выходе из реактора и среднюю температуру стенки по длине реактора

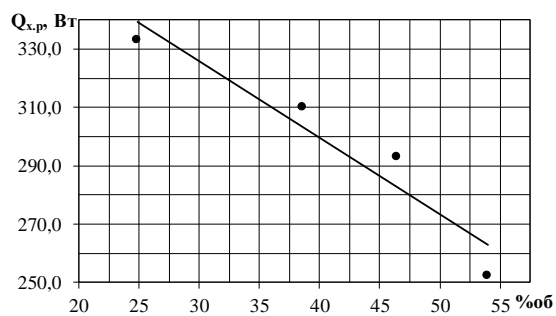


Рис. 4. Влияние состава смеси «биоэтанол-вода» на эффективную мощность реактора

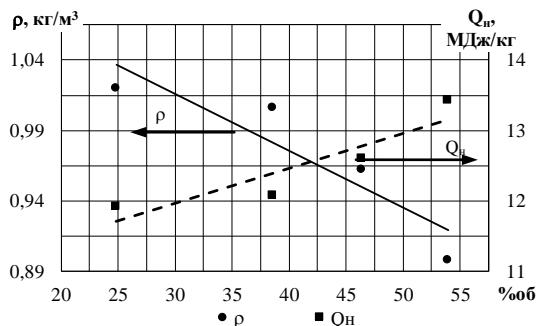


Рис. 5. Влияние состава смеси «биоэтанол-вода» на плотность синтез-газа и расчетную теплоту сгорания синтез-газа

Список литературы:

1. Карпов, С. А. Автомобильные топлива с биоэтанолом [Текст] / С. А. Карпов, В. М. Капустин, А. К. Старков. – М. : Колос, 2007. – 216 с.
2. Третьяков, В. Ф. Биоэтанол – стратегия развития топливного и нефтехимического комплекса [Текст] / В. Ф. Третьяков // Химическая техника. – 2008. – № 1. – С. 8-12.
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. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В. А. Марков, А. И. Гайворонский, Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко. – М. : Изд-во «Легион – Автодата», 2008. – 464 с.
5. Носач, В.Г. Повышение эффективности использования биогаза в теплоэнергетических установках с помощью термохимической регенерации [Текст] / В.Г. Носач, А.А. Шрайбер // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, №2 – С. 57-63.
6. 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.
7. Cheekatamarla P.K. Reforming catalysts for hydrogen generation in fuel cell applications [Text] / P.K. Cheekatamarla, C.M. Finnerty // Journal of Power Sources. – 2006. – P. 490-499.
8. Methane steam reforming for hydrogen production using low water-ratios without carbon formation over ceria coated Ni catalysts [Text] / J. Xu et al. // Applied Catalysis A. – 2008. – P. 119-127.
9. Reactivity of steam in exhaust gas catalysis III. Steam and oxy-gen/steam conversions of propane on a Pd/Al2O3 catalyst [Text] / T. Maillot et al. // Applied Catalysis B. – 1996. – P. 251-266.
10. Production of H2 for fuel cell applications: methanol steam reforming with sufficiently thorough cleaning of H2 from CO impurity [Text] / A. Ya. Rozovskii et al. // Topics in Catalysis. – 2007. – Vol. 42-43. – P. 437-441.
11. Ethanol steam reforming in a microchannel reactor [Text] / Y. Men, G. Kolb, R. Zapf, V. Hessel and H. Lowe. – Trans IChemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection, 2007, 85(B5): 413-418.
12. Тимошевский, Б.Г. Эффективность термохимической конверсии углеводородных топлив применяемых в ДВС [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин // Вісник НУК. – 2011. – №3. – С. 36-42.
13. Блинов, Л.М. Справочник по химии [Текст] / Л.М. Блинов, И.Л. Перфилова, Л.В. Юмашева, Р.Г. Чувиляев. – М.: Проспект, 2011. – 160 с.

Bibliography (transliterated):

1. Karpov, S. A. Avtomobilnyie topliva s bioetanolom [Tekst] / S. A. Karpov, V. M. Kapustin, A. K. Starkov. – M. : Kolos, 2007. – 216 s.
2. Tretyakov, V. F. Bioetanol – strategiya razvitiya toplivnogo i neftehimicheskogo kompleksa [Tekst] / V. F. Tretyakov // Himicheskaya teh-nika. – 2008. – # 1. – S. 8-12.
3. Danilov, A. M. Alternativnyie topliva: dostoinstva i nedostatki. Proble-my i primeneniya [Tekst] / A. M. Danilov, E. F. Kaminskiy, V. A. Havkin // Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I.Mendeleeva). – 2003. – T. 47, # 6. – S. 4-11.
4. Rabota dizeley na netraditsionnyih toplivah / V. A. Markov, A. I. Gayvoronskiy, L. V. Grehov, N. A. Ivaschenko. – M. : Izd-vo «Legion – Avtodata», 2008. – 464 s.
5. Nosach, V.G. Povy-i-shenie effektivnosti ispolzovaniya biogaza v teplo-energeticheskikh ustanov-kah s pomoschyu termohimicheskoy regeneratsii [Tekst] / V.G. Nosach, A.A. Shrayber // Pro-myishlennaya teplotekhnika. – 2009. – T.31, #2 – S. 57-63.
6. Nosach, V.G. Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya prirodnogo gaza v teploenergetike s pomoschyu termohimicheskoy regeneratsii [Tekst] / V.G. Nosach, A.A. Shrayber //

Promyshlennaya teplotekhnika. – 2009. – Т.31, #3 – С. 42-50. 7. Cheekatamarla P.K. Reforming catalysts for hydrogen generation in fuel cell applications [Text] / P.K. Cheekatamarla, C.M. Finnerty // *Journal of Power Sources*. – 2006. – P. 490-499. 8. Methane steam reforming for hydrogen production using low water-ratios without carbon formation over ceria coated Ni catalysts [Text] / J. Xu et al. // *Applied Catalysis A*. – 2008. – P. 119-127. 9. Reactivity of steam in exhaust gas catalysis III. Steam and oxy-gen/steam conversions of propane on a Pd/Al₂O₃ catalyst [Text] / T. Maillet et al. // *Applied Catalysis B*. – 1996. – P. 251-266. 10. Production of H₂ for fuel cell applications: methanol steam reforming with sufficiently thorough

cleaning of H₂ from CO impurity [Text] / A. Ya. Rozovskii et al. // *Topics in Catalysis*. – 2007. – Vol. 42-43. – P. 437-441. 11. Ethanol steam reforming in a microchannel reactor [Text] / Y. Men, G. Kolb, R. Zapf, V. Hessel and H. Lowe. – *Trans IChemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection*, 2007, 85(B5): 413-418. 12. Timoshevskiy, B.G. Effektivnost termohimicheskoy konversii uglevodnorodnykh topliv primenyaemykh v DVS [Tekst] / B. G. Timoshevskiy, M. R. Tkach, A. Yu. Proskurin // *Visnik NUK*. – 2011. – #3. – С. 36-42. 13. Blinov, L.M. Spravochnik po himii [Tekst] / L.M. Blinov, I.L. Perfi-lova, L.V. Yumasheva, R.G. Chuvilyaev. – М.: Prospekt, 2011. – 160 s.

Поступила в редакцию 12.05.2013

Тимошевский Борис Георгиевич – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: btyum@mksat.net, (050) 948-22-22.

Ткач Михаил Романович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tkach@mksat.net, (050) 521-93-80.

Митрофанов Александр Сергеевич – ассистент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: m.aleksandr.s@mail.ru, (063) 021-30-93.

Познанский Андрей Станиславович – ассистент кафедры теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: AndPozn@yandex.ru, (096) 968-51-24.

Проскурин Аркадий Юрьевич – ассистент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: mover@ukr.net, (093) 204-80-26.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНВЕРСИИ БИОЭТАНОЛУ ДВЗ 2Ч 7,2/6

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

Представлені принцип дії і конструктивні особливості експериментальної установки ТХР-2.0, призначеної для досліджень парової конверсії біоетанолу в синтез-газ у термохімічному реакторі. Визначено основні конструктивні та енергетичні показники реактора на характерних режимах. Мінімальна температура, при якій була досягнута 100% конверсія біоетанолу, складала 620 °С при використанні суміші з 54% вмістом біоетанолу. Ефективна потужність реактора залежно від складу суміші становила 252 ... 333 Вт.

CHARACTERISTICS OF BIOETHANOL CONVERSION EXPERIMENTAL SYSTEM FOR THE 2 CYLINDER 4-STROKE ENGINE 7,2/6

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

Represented principle of operation and design features of the experimental plant TCR-2.0 for research bio-ethanol steam reforming in syngas by thermochemical reactor. The basic structural and energy performance of the reactor at the characteristic modes are describes. The minimum temperature, which was achieved with 100% conversion ethanol, was 620 °C when using a mixture containing 54% ethanol. The effective capacity of the reactor depending on the composition of the mixture was 252 ... 333 watts.