УДК 621.039.533.6

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В СОСТАВЕ АВТОНОМНОЙ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Коротков В.С.[1], Залетов Д.В.[2], Подсухин Р.А.[2]

[1]*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)» (Университет машиностроения), (107023; г. Москва, ул. Большая Семеновская, д.38), e-mail: v.korotkov@mami.ru.*
[2]*Общество с ограниченной ответственностью "Мобил ГазСервис" (ООО "МГС"), (603000, Нижегородская область, Нижний Новгород, пер. Холодный д. 10а), e-mail: pra_mgs@mail.ru*

В статье описана разработка системы получения водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания в составе автономной гибридной энергетической системы, с учетом выбранного исходного сырья для конверсии и наиболее подходящего каталитического комплекса, предназначенного для работы в составе системы выпуска отработавших газов и отвечающего заданным требованиям. Определены основные составляющие разрабатываемой системы, ее функциональная схема и требования, предъявляемые к ее основному элементу - реактору конверсии метанола в синтез-газ с утилизацией энергии отработавших газов. Также приведены результаты математического моделирования теплообменных процессов в реакторе конверсии метанола, необходимые для определения его конструктивных параметров. Сформулированы ожидаемые результаты применения разработанной системы получения водородного топлива в двигателе внутреннего сгорания в составе автономной гибридной энергетической системы.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, водородное топливо, автономная гибридная энергетическая система, термокаталитическая конверсия метанола.

DEVELOPMENT OF PRODUCING HYDROGEN FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE AS PART OF THE AUTONOMOUS HYBRID POWER SYSTEMS

Korotkov V.S.[1], Zaletov D.V.[2], Podsukhin R.A.[2]

[1]*Moscow State University of Mechanical Engineering (UMech), (107023; Moscow, Bolshaya Semenovskaya str., 38), e-mail: v.korotkov@mami.ru.*
[2]*Mobil GazService Ltd, (603000, Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod, Holodny side str. 10a), e-mail: pra_mgs@mail.ru*

This article describes the development of hydrogen fuel to the internal combustion engine in the autonomous hybrid power system based on the selected feedstock for the conversion and the most suitable catalyst complex, intended for work in the exhaust system and specify the corresponding requirements. The main components of the system under development, its functional layout and the requirements for its core element - the reactor conversion of methanol to synthesis gas with energy recovery of exhaust gases. Also shown are the results of mathematical modeling of heat transfer processes in the reactor conversion of methanol needed to determine the design parameters. Articulated expected outcomes of the developed system hydrogen fuel in an internal combustion engine comprising an autonomous hybrid energy system.

Keywords: internal combustion engine, hydrogen fuel, autonomous hybrid power system, conversion of methanol.

Введение

Водород обладает очень высокой энергоемкостью и уникальными экологическими качествами. Основной проблемой применения чистого водорода является отсутствие инфраструктуры его производства, сложности хранения и заправки автомобилей. Водород (либо синтез-газ) может быть получен в конверторе непосредственно на автомобиле из метанола или другого энергоносителя [2]

Получение водорода путем конверсии, в последние десятилетия, успешно применяется в стационарных энергоустановках, однако для автотранспортных средства данные технологии

неприменимы, в первую очередь, в связи с большими габаритами применяемых реакторов. Это послужило основной причиной исследований, направленных на уменьшение массы и габаритных размеров реакторов конверсии углеводородов в синтез-газ. Другой важной технической проблемой при разработке компактных реакторов конверсии, является обеспечение его быстрого пуска и сохранение работоспособности на переходных режимах. Катализаторы, используемые в бортовых реакторах конверсии должны отвечать большому количеству требований по долговечности, рабочим температурам и устойчивости к образованию кокса.

Выбор исходного сырья и катализатора

Получение синтез-газа возможно путем конверсии различных водородсодержащих веществ, которые можно разделить на две основные группы:

- газообразные углеводороды, такие как метан, пропан, бутан и другие;
- жидкие углеводороды, такие как эфиры спирты, бензин, дизельное топливо и другие.

Большинство химических реакций, происходящих при конверсии углеводородов в синтез-газ являются эндотермическими, что обуславливает необходимость постоянного подвода энергии в реактор. В двигателе внутреннего сгорания источником энергии для обеспечения непрерывного процесса получения синтез-газа может быть его система выпуска отработавших газов [4].

При использовании для конверсии энергии отработавших газов, необходимо учитывать температуру диссоциации исходного сырья. Очевидно, что для топлив, температура диссоциации которых (с учетом использования соответствующего катализатора) выше средней температуры отработавших газов, данный метод нецелесообразен, так как требует подвода дополнительной энергии. К числу химических соединений с температурой диссоциации ниже средней температуры отработавших газов относятся простейшие эфиры (диметиловый, диэтиловый), низшие одноатомные спирты (метиловый, этиловый) и другие [5]. Основными преимуществами метанола являются: мягкие условия конверсии, отсутствие необходимости предварительной конверсии, возможность получения из возобновляемых ресурсов.

Среди различных способов получения водородсодержащего газа из метанола наиболее высоким эндотермическим эффектом и удельной производительностью водорода обладает сухая термокаталитическая конверсия, которую можно описать следующим выражением:

$$CH_3OH \rightarrow CO + 2H_2 \qquad (\Delta H = +92\frac{кДж}{моль})$$

Условия протекания данной реакции и ее селективность зависят от выбранного катализатора. Для эффективной работы реактора сухой конверсии метанола в синтез-газ,

использующего энергию отработавших газов, в составе двигателя внутреннего сгорания к катализатору предъявляются следующие требования:

1. низкие рабочие температуры (не более 350 ^{0}C);
2. высокая термостойкость для исключения разрушения каталитического слоя при перегреве реактора (до 700 ^{0}C);
3. высокая степень конверсии на заданных расходах;
4. высокая селективность в заданном диапазоне температур;
5. механическая прочность;
6. большая удельная поверхность.

Из современных каталитических систем наилучшую производительность, с учетом заданных требований, обеспечивают катализаторы на основе благородных металлов. На данном этапе работ была выбрана платина, стабилизированная на оксиде алюминия, нанесенном на высокопористый проницаемый ячеистый пенонихром.

Разработка системы получения водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания

Для наиболее полного использования энергии отработавших газов реактор конверсии метанола в синтез-газ должен быть интегрирован в систему выпуска отработавших газов, причем, с целью обеспечение его быстрого пуска, должен находиться в непосредственной близости от двигателя внутреннего сгорания. Существуют предложения по размещению испарителя метанола и реактора конверсии в выпускном коллекторе двигателя внутреннего сгорания[3].

В данной работе в качестве базового двигателя для разработки системы получения водородного топлива использовался двигатель ВАЗ-2112. Система выпуска отработавших газов этого двигателя включает в себя каталитический нейтрализатор интегрированный в выпускной коллектор. Таким образом возможно расположить реактор конверсии метанола в синтез-газ непосредственно в выпускном коллекторе двигателя внутреннего сгорания. При этом метанол в жидком состоянии подается в выпускной коллектор, где испаряется и разлагается до синтез-газа, который подается во впускной коллектор, что позволяет интегрировать данную систему в любой двигатель внутреннего сгорания при минимальных изменениях его конструкции и использовать модифицированный двигатель в тех же транспортных средствах, что и базовый. Функциональная схема двигателя внутреннего сгорания с системой получения водородного топлива показана на рисунке 1.

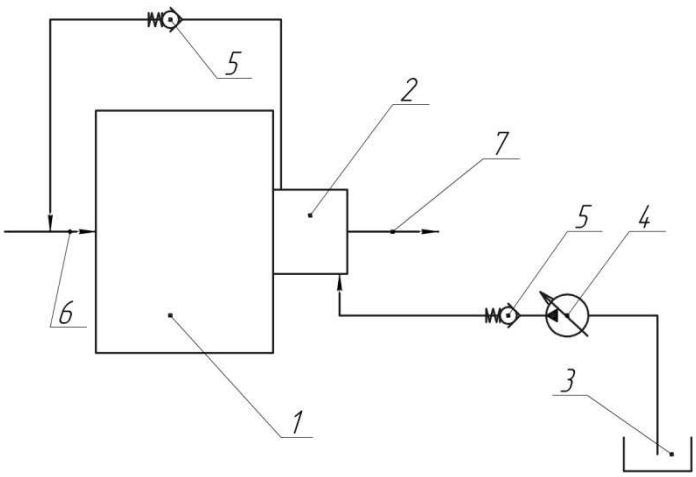

Рисунок 1 - Функциональная схема двигателя внутреннего сгорания с системой получения водородного топлива

1 – двигатель внутреннего сгорания; 2- реактор конверсии метанола; 3 – емкость для хранения метанола; 4 – насос-дозатор; 5 – обратный клапан; 6 – впускная система ДВС; 7 - выпуск отработавших газов.

Разработка конструкции реактора конверсии метанола в синтез-газ

Основным элементом системы получения водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания в составе автономной гибридной энергетической системы является реактор конверсии метанола. Для эффективной работы системы получения водородного топлива реактор конверсии метанола должен отвечать следующим требованиям:

- высокая производительность, напрямую зависящая от интенсивности теплопередачи от отработавших газов двигателя к парам метанола;
- низкое аэродинамическое сопротивление, создаваемое в системе выпуска отработавших газов;
- вибро- и термостойкость.

Конструктивно разработанный реактор конверсии метанола в синтез-газ представляет собой кожухотрубный теплообменник, внутренний объем которого разделен на секции перегородками, между которыми расположен слой пенометалла с нанесенным катализатором. При этом отработавшие газы проходят внутри труб круглого сечения, что минимизирует общее аэродинамические сопротивление, а пары метанола омывают коридорные пучки труб, что обеспечивает высокий коэффициент теплоотдачи, благодаря высокой степени турбулизации потока.

Конструкция реактора конверсии метанола в синтез-газ показана на рисунке 2.

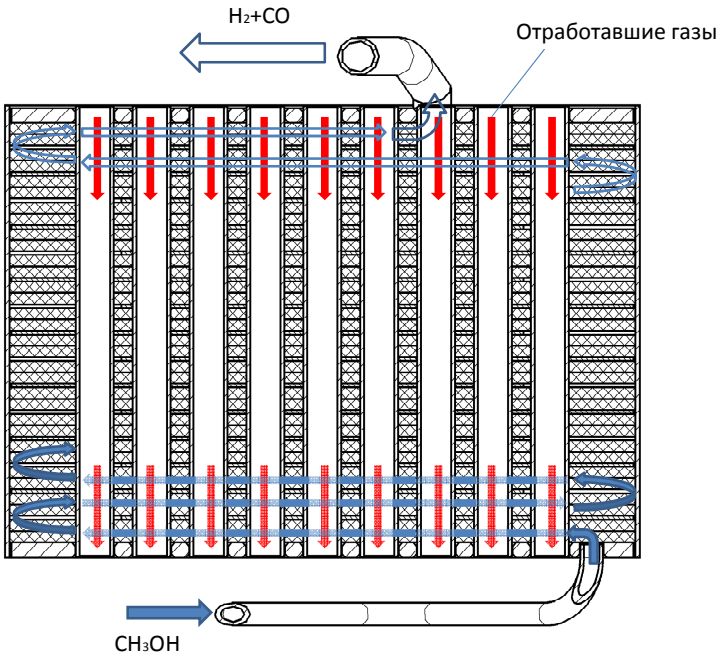

Рисунок 2 – Реактор конверсии метанола в синтез-газ

Математическое моделирование реактора конвесрии метанола в синтез-газ

Площадь теплообмена реактора сухой конверсии метанола F можно определить из зависимости [1]:

$$Q = \overline{K} \cdot F \cdot \Delta T ,$$

где $\overline{K}$ – средний постоянный для поверхности F коэффициент теплопередачи, Вт/м2·К;

Q – теплота, необходимая для конверсии метанола в синтез-газ, Дж;

ΔT - усредненная разница температур отработавших газов и паров метанола, 0К.

При расчете необходимой площади теплообмена учитывались затраты энергии для организации всего конверсионного процесса в целом:

- нагрев жидкого метанола до температуры кипения,
- испарение метанола,
- нагрев паров метанола до температуры диссоциации,
- термокаталитическое разложение метанола до синтез-газа,
- необратимые потери теплоты в окружающую среду.

Математическое моделирование конверсии метанола в синтез-газ показало, что для замещения 10% традиционного топлива, потребляемого двигателем внутреннего сгорания в диапазоне частот вращения коленчатого вала 3000-4000 мин-1 и вырабатываемой эффективной мощности 30кВт, синтез-газом требуется отвести до 3 кВт тепловой энергии от отработавших газов. На основании данных математического моделирования была

определена необходимая площадь теплообмена реактора сухой конверсии метанола, величина которой составила порядка 0,15м2.

Разработанная система получения водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания в составе автономной гибридной энергетической системы позволит получить:

- снижение расхода традиционного топлива не менее, чем на 10%;
- объемное содержание водорода в получаемом синтез-газе не менее 60%;
- температуру синтез-газа на выходе из реактора конверсии не более 340^0С;
- аэродинамическое сопротивление, создаваемое в системе выпуска отработавших газов, не более 30 мм.рт.ст.

Разработка системы получения водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания в составе автономной гибридной энергетической системы проводится в рамках работы по разработке научно-технических решений по экологически чистым технологиям аккумулирования энергии в автономных энергетических системах с применением водородного двигателя внутреннего сгорания в качестве первичного источника энергии при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 14.516.11.0055 от «21» июня 2013 г.

Список литературы

1. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М.Теплотехника – М.: Высшая школа, 2002.
2. Машиностроение энциклопедия. В 40 т. Под ред. К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 2013 г. Т. IV-14: Н.А. Хрипач, Л.Ю. Лежнев, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. Двигатели внутреннего сгорания – С. 533.
3. Патент CN № 201991593, 28.09.2011. Guanneng Xu, Bin Liang, Hehui Huang, Kezheng Zhao, Shiliu Song. Vehicle-mounted hydrogen-making exhaust pipe.
4. Хрипач Н.А., Каменев В.Ф., Фомин В.М., Папкин Б.А. Автомобили, двигатели и их компоненты: Сб. науч. тр./НАМИ. – 2008. – Вып. 239. – с. 38-71
5. Хрипач Н.А. Совершенствование экологических и топливоэкономических показателей работы двигателя с принудительным зажиганием применением предварительной термохимической конверсии метанола: дис. канд. техн, наук. — М.. 2004. — С. 10.

Рецензенты:

Ерохов В.И., д.т.н., профессор, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г.Москва.

Фомин В.М., д.т.н., профессор, Российский университет дружбы народов (РУДН), г.Москва.