

ГЕНЕРАТОР СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Э.А. Шаравин, Е.Ю. Аристова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607190 Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37
E-mail: denisova@sarfti.ru

Заключение совета рецензентов: 22.08.10 Заключение совета экспертов: 30.08.10 Принято к публикации: 05.09.10

В работе рассмотрены актуальные пути решения по созданию генераторов синтез-газа. Предлагается разработать технологию для повышения топливной эффективности и экологичности тепловых машин, применяя термохимическую регенерацию в автомобильной промышленности с последующим расширением использования разработок в других отраслях.

При разработке конструкции конвертора предлагается принцип максимального интегрирования функциональных устройств, обеспечивающих технологию получения синтез-газа с высоким к.п.д.

Ключевые слова: риформинг, риформер, паровой каталитический риформинг, парциальное окисление, автотермический риформинг, генератор синтез-газа, каталитический реактор.

SYNTHESIS-GAS GENERATOR FOR INTERNAL-COMBUSTION ENGINE

E.A. Sharavin, E.Yu. Aristova

FSUE "RFNC-VNIIEF"
37 Mira ave., Sarov, N.Novgorod reg., 607190, Russia
E-mail: denisova@sarfti.ru

Referred: 22.08.10 Expertise: 30.08.10 Accepted: 05.09.10

The paper considers topical ways of problems solution on creation of synthesis –gas generators. It is proposed to develop a technology for fuel efficiency and ecological compatibility increase of heat engines using thermo-chemical regeneration in automobile industry with further introduction of the developments into other branches.

Developing the converter we propose the principle of maximum integration of functional devices providing the technology of synthesis-gas obtaining with high efficiency coefficient.

Keywords: reforming, reformer, steam catalytic reforming, partial oxidation, autothermal reforming, synthesis-gas generator, catalytic reactor.

Введение

Исследования в области водородной энергетики ведут десятки стран мира, разрабатывают перспективы развития на долгие годы вперед, а некоторые – США, Япония, Германия, Россия – принимают национальные программы и решают крупные задачи. Все чаще используется понятие «водородная экономика», и в целом в 1980-е годы оформилась концепция водородной энергетики, которая должна решить следующие задачи:

- производство водорода из воды с использованием невозобновляемых источников энергии (уголь, атомная энергия, термоядерная энергия) и возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, энергия морских приливов, биомасса);
- транспортировку водорода;
- хранение водорода;
- создание эффективных топливных ячеек и использование водорода в промышленности, на транспорте и в быту;
- обеспечение безопасности водородной энергетики.

С водородной энергетикой связывают большие надежды во всем мире, но последний мировой кризис поубавил интерес к ней не только со стороны бизнеса, но и государственного сектора. Резко сократили финансирование многих проектов, в том числе в нашей стране. Научно-техническая политика России в области водородных технологий и топливных элементов опирается, в первую очередь, на федеральные целевые программы («Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» и «Национальная технологическая база на 2007–2011 годы»), частно-государственное и международное сотрудничество. Кроме того, государство финансирует эти направления через программы фундаментальных исследований РАН и РФФИ.

В настоящее время наиболее интенсивные разработки в области использования альтернативных топлив и водорода ведутся в автомобилестроении, поскольку автотранспорт является основным потребителем нефтепродуктов и источником токсичных и парникового газов. При этом автомобилестроение традиционно восприимчиво к инновациям, имеет соответствующий опыт и способно в короткие сроки организовать разработку и изготовление новой продукции, пригодной для массового применения, отвечающей наиболее жестким требованиям по безопасности.

Водород обладает высокой экологической чистотой и является топливом для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и двигателей энергоустановок на базе низкотемпературных (твердополимерных и щелочных) топливных элементов. Учитывая то обстоятельство [1], что хранение водорода на борту любого транспортного средства является крайне нерациональным из-за большой массы и габаритов контейнера и его взрывоопасности, а также что создание инфраструктуры снабжения водородом транспортных средств на огромной территории России потребует много времени и материальных затрат, на первом этапе перехода к водородной энергетике водород целесообразно получать на борту транспортных средств из углеводородного топлива, т.е. необходимо иметь на борту автомобиля установки, позволяющие вырабатывать водород из углеводородных топлив. Оптимальным представляется использование водорода в качестве добавок к основному углеводородному топливу. Такой подход ускорит решение задач по экологии и энергосбережению.

Еще в 2001 г. РФЯЦ-ВНИИЭФ совместно с ИК СО РАН удалось разработать ряд малогабаритных конвертеров селективного окисления природного газа с малым временем запуска, которые могут использоваться в качестве бортовых генераторов синтез-газа. На базе ОАО «АвтоВАЗ» и Тольяттинского государственного университета совместно с РФЯЦ-ВНИИЭФ и ИК СО РАН были проведены испытания двигателя ВАЗ-2111 в комплексе с эксперименталь-

ным образцом каталитического генератора синтез-газа из природного газа разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ и ИК СО РАН. Испытания показали возможность снижения расхода бензина при работе двигателя с добавками синтез-газа в рабочую смесь на 42% на холостом ходу и на 24% – при работе в режиме $P = 0,2$ МПа и $n = 2185$ об/мин. Выявлено, что топливная экономичность ДВС с добавками синтез-газа повышается не меньше, чем при добавках к топливу чистого водорода [2]. На рис. 1 показана схема питания двигателя синтез-газом.

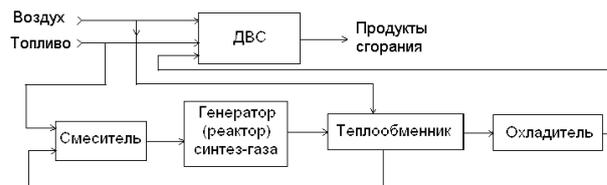


Рис. 1. Структурная схема питания ДВС продуктами частичной конверсии топлива

Fig. 1. Structural diagram of internal-combustion engine supply with partial fuel conversion products

Как следует из экспериментов, применение синтез-газа в качестве добавки к используемому в ДВС углеводородному топливу обеспечивает значительное снижение концентрации CO и NO_x в выхлопных газах двигателя и достижение норм EURO-4 без применения трехкомпонентных (CO , CH и NO_x) каталитических нейтрализаторов.

Каталитические методы получения водородосодержащего синтез-газа из углеводов

В настоящее время основными способами риформинга топлива на борту автомобиля являются: паровой каталитический риформинг (steam reforming – SR), парциальное окисление (partial oxidation – PO) и автотермический риформинг (autothermal reforming – ATR) [3-6].

В *паровом риформинге* топливо реагирует с паром в присутствии катализатора, образуя водород и оксиды углерода. Этот метод является наиболее экономичным и широко используемым в промышленности для производства водорода, выход которого достигает 70-80%.

Отличительными особенностями такого способа риформинга являются:

- паровая каталитическая конверсия углеводов, обеспечивающая получение синтез-газа с высоким содержанием водорода;
- достигаемый ресурс на такого типа катализаторах составляет около 50 часов, после чего происходит значительное коксообразование;
- ароматические углеводороды оказывают наибольшее влияние на коксообразование;

– наиболее перспективным вариантом конверсии жидких углеводородов в синтез-газ является паровая конверсия жидких углеводородов с предварительным разбавлением синтез-газом;

– проведенные исследования показали сложность получения водорода из бензина и поставили задачу разработки специальных катализаторов для полной конверсии бензина;

– эндотермичность метода паровой конверсии углеводородов является основным его недостатком, что требует значительного количества тепла, подводимого извне. Это обстоятельство существенно уменьшает общую эффективность систем по сравнению с теоретической эффективностью 100% и ухудшает динамические свойства системы;

– паровой риформинг не может рассматриваться как основной метод производства водородсодержащего газа на автомобиле, так как не способен произвести моментальный пуск двигателя [7].

Каталитическое парциальное окисление в последние годы является объектом интенсивных исследований. При времени контакта порядка миллисекунд углеводороды могут быть окислены с образованием водорода и окиси углерода как главных продуктов.

Парциальное окисление может быть использовано для конверсии метана и высших углеводородов, но нередко используется и для спиртов. Наиболее интенсивно исследуется селективное каталитическое окисление метана для производства синтез-газа [8-24].

Селективное (парциальное) окисление и автотермический риформинг углеводородов в синтез-газ рассматриваются как альтернатива паровой конверсии для получения синтез-газа и H_2 из ископаемых видов топлива [25-28]. Для стационарных применений предпочтительным топливом является метан, основной компонент природного газа.

По сравнению с паровым риформингом парциальное (селективное) окисление метана (ПОМ) имеет такие преимущества, как мягкая экзотермичность и существенно более высокая производительность, обеспечивающие компактные конструкции реактора и, следовательно, меньшие капиталовложения. Соотношение H_2/CO , равное 2-м в синтез-газе, полученном путем этой реакции, является наиболее подходящим для синтеза Фишера–Тропша и синтеза метанола. Это делает парциальное окисление природного газа особенно перспективным для применения на удаленных месторождениях газа, оснащенных установками, работающими на газообразном и жидком топливе. Добавление пара в смесь природного газа и воздуха позволяет контролировать отношение H_2/CO .

Основные свойства процесса каталитического парциального окисления можно сформулировать следующим образом [29]:

– большинство реакций протекает на участках размером порядка одной ячейки катализатора, при этом могут изменяться все свойства процесса;

– свойства входного газа и продуктов реакции могут изменяться более чем на порядок;

– при протекании процесса возникают большие градиенты температуры и концентрации;

– градиенты концентрации, возникающие в радиальном и аксиальном направлениях, приводят к весьма непредсказуемым условиям для возникновения гомогенных реакций и пламени;

– возникновение гомогенных реакций и пламени тесно связано с поверхностными реакциями, которые либо охлаждают, либо нагревают поверхность, что изменяет распределение свободных радикалов;

– множество стационарных состояний возможно в этих системах как для гомогенных, так и для гетерогенных процессов;

– переходы между стационарными состояниями могут приводить к довольно различному поведению процесса на катализаторах с различной геометрией и при различных условиях.

При парциальном окислении выход водорода меньше, чем при паровом риформинге. Однако реакция является экзотермической. Это означает, что для быстрого старта конкретного устройства реакция может быть инициирована простым процессом горения. Как только система начинает работать, количество вводимого внешнего тепла резко снижается. Процесс парциального окисления является более предпочтительным в условиях, когда необходимо экономить топливо [30].

Автотермический риформинг объединяет эндотермический процесс парового риформинга с экзотермической реакцией парциального окисления путем подачи в реактор топлива, кислорода (воздуха) и воды одновременно, при этом экзотермическое окисление снабжает энергией эндотермический риформинг. Этот процесс осуществляется в присутствии катализатора, активность которого контролирует вклад реакции парциального окисления и парового риформинга, при этом поддерживается баланс тепловых потоков, поступающих и выходящих из реактора.

Основными рабочими параметрами автотермического риформинга являются соотношения топливо-воздух, топливо-вода. Эти два соотношения, наряду со степенью подогрева топлива, воздуха и воды, определяют температуру реакции в риформере. Другие параметры, которые могут влиять на эту температуру, включают конверсию топлива, распределение компонентов в сыром риформате и теплопотери. Соответственно, независимые параметры должны быть выбраны таким образом, чтобы достичь необходимой температуры реакции. Однако при одной и той же реакционной температуре и различных параметрах входной реакционной смеси состав газа на выходе может отличаться. Кроме того, чтобы предотвратить отложение углерода и свести к минимуму образование метана на стадии риформинга, необходимо также соблюдать определенные соотношения топливо-воздух, топливо-вода. Образование метана уменьшается с увеличением как реакционной темпе-

ратуры, так и соотношения вода-углерод во входном реакционном потоке. Образование CO уменьшается, если реакционная температура уменьшается, а отношение вода-углерод увеличивается.

Автотермический риформинг, имеющий низкие рабочие температуры, приводит к весьма важным преимуществам при использовании этого процесса для транспорта:

- менее сложный дизайн и небольшой вес реактора, т.к. в этом случае интегрирование по теплу (т.е. теплообмен между входным потоком и горячими продуктами реакции) является более простым;

- меньшее количество топлива при одной и той же массе реактора, которое требуется для зажигания процесса, т.к. количество энергии, требуемое для подогрева риформера до рабочей температуры, пропорционально этой рабочей температуре.

Одной из главных проблем при риформировании для водородного топлива с двумя или более атомами углерода в цепи является образование углерода. Топливо, содержащее большее количество ароматических веществ, имеет большую тенденцию к отложению углерода. Тяжелые углеводороды в авиационных бензинах и дизельных топливах могут давать отложения углерода даже при относительно низких температурах, таких как 450 °С, вследствие пиролиза [3, 31, 32].

Для метанола эффективность составляет 77,3%. Эта величина была определена European driving cycle (NEDC) исходя из массового потока перед и после каталитического риформера [33].

Для бензинового топливного процессора рассмотрены в качестве кандидатов процессы парциального окисления и высокотемпературный паровой риформинг. В зависимости от используемого подхода паровой риформинг может иметь преимущество по отношению к парциальному окислению. Однако это только при поверхностном рассмотрении. Более важным является тот факт, что паровой риформинг является более дорогим и не может быть использован на движущемся транспортном средстве для риформинга бензина [34, 35]. Термодинамические вычисления показывают [36], что теоретическая эффективность при автотермическом риформинге выше, чем при парциальном окислении с низкими температурами предварительного подогрева. С другой стороны, реактор парциального окисления имеет более простую конструкцию, т.к. в этом случае не используется добавка воды. С точки зрения создания конструкции это может быть не так важно, т.к. тепло для испарения воды и подогрева входной смеси может быть произведено при риформировании и вся система интегрируется по теплу. В случае парциального окисления производится большое количество тепла, которое должно быть удалено специальной системой на автомобиле, и это обстоятельство увеличивает размер конструкции. Максимальная эффективность риформера была определена как 80%.

В общем случае автотермический риформинг имеет преимущества в отношении быстрого старта по сравнению с паровым риформингом, т.к. все устройство может быстро достигать заданной рабочей температуры, например, путем применения режима горения в течение короткого времени [37]. В этом случае быстрый старт достигается тем, что реактор подогревается до необходимой температуры в результате тепла, генерируемого реакцией при соотношении кислород-топливо выше, чем необходимо для получения синтез-газа.

Дизайн каталитических узлов и конструкций риформеров для получения синтез-газа

Для формулирования технических требований, предъявляемых к генератору синтез-газа, проведены информационно-аналитические и патентные изыскания, на основе которых можно выработать подходы к разработке высокоэффективного образца конвертора, включающего все функциональные подсистемы с реализацией принципа их максимального интегрирования.

Одним из наиболее важных функциональных узлов конвертора является система запуска, которая обеспечивает прогрев катализатора и риформируемого потока до температуры начала конверсии. Здесь дизайн и конструктивное оформление направлено на снижение размеров и массы системы запуска, что позволит снизить перепад давления и тепловую инерционность, улучшая тем самым параметры и работу конвертора в целом.

Наиболее перспективными для активных компонентов катализаторов остаются церий-циркониевые оксидные системы, допированные лантаном. Платина вводится для части блочного катализатора, работающей там, где нет кислорода. Для лобовой части, где есть кислород и откуда платина будет улетать, используется никелат лантана, промотированный платиной.

Несмотря на обилие научных публикаций и патентов по катализаторам для проведения селективных реакций риформинга углеводородов, сохраняется актуальность проблемы разработки катализатора, обладающего высокой селективностью по водороду в течение достаточно долгого периода эксплуатации, технологичного и достаточно дешевого при изготовлении в промышленных масштабах.

Применяемые катализаторы на транспортном средстве должны обладать не только высокой активностью и селективностью, но и более высокой термической и механической прочностью, чем обычные катализаторы, используемые на существующих промышленных производствах водорода.

Из-за больших градиентов температур, образующихся в слое катализатора при эксплуатации и учитывая наличие в реакторе конструкционных материалов со значительным различием коэффициентов линейного расширения требуется введение тепловой

компенсации. Эта проблема встает особенно остро во время запуска и останова реактора. Один из возможных подходов – использование волокнистых теплоизоляционных материалов для заполнения блочного катализатора и их термоизоляция.

Генератор синтез-газа – устройство, непосредственно обеспечивающее конверсию углеводородного топлива (см. рис. 2).

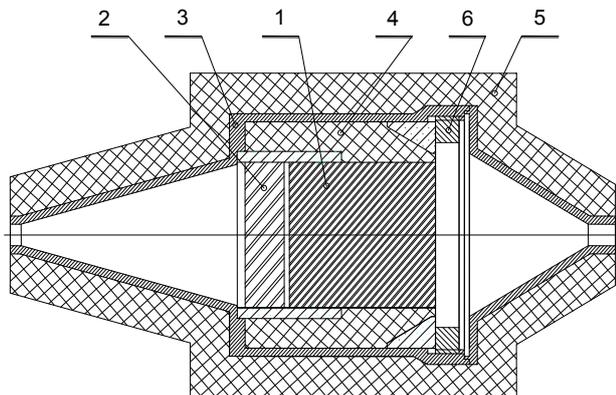


Рис. 2. Схема риформера: 1 – катализатор; 2 – распределитель газового потока; 3 – корпус; 4 – теплоизоляция внутренняя; 5 – теплоизоляция наружная; 6 – поджим
Fig. 2. Scheme of the reformer: 1 – catalyst; 2 – gas-flow distributor; 3 – case; 4 – inner thermal protection; 5 – outer thermal protection; 6 – tightening

Генератор синтез-газа можно рассматривать как интегрированную систему, которая состоит из следующих подсистем и устройств:

- реакторного каталитического устройства для получения синтез-газа из углеводородного топлива с подсистемой запуска;
- балансовых устройств, обеспечивающих необходимые тепловые режимы;
- подсистемы управления и контроля;
- подсистемы подготовки топливно-воздушной смеси и поддержания требуемого соотношения топливо/воздух.

Каталитический реактор. Основные требования:

- высокая производительность при минимальных габаритах;
- высокое качество конвертируемой смеси – синтез-газа (максимальное содержание водорода и окиси углерода);
- минимальная стоимость;
- большой ресурс для устройств, устанавливаемых на транспортных средствах, – 5000 час;
- технологичность.

По проведенным изысканиям выявлено, что наилучший состав синтез-газа обеспечивается:

- при оптимальной температуре газовой смеси, зависящей от активной компоненты катализатора;

- соотношением метан/воздух 0,27–0,33 (наилучшие показатели при 1/3);
- гомогенностью смеси;
- равномерностью массовой подачи реакционной смеси по сечению.

Оптимальное условие отвода прореагировавшей смеси – не должно быть застойных зон. Наиболее благоприятным схемным решением можно считать такое решение, когда вся каталитическая масса имеет оптимальную температуру с минимальными отклонениями от некоторого номинала, при котором обеспечивается наилучшая степень конверсии исходного топлива и минимальное падение давления на катализаторе.

Для получения синтез-газа с максимальным содержанием водорода и СО входная температура газовой смеси должна быть примерно равной 350–400 °С. Для повышения температуры смеси, подаваемой на риформинг, целесообразно использовать тепло отходящего потока синтез-газа. Температура отходящего потока синтез-газа составляет 600–900 °С.

Рассматриваются следующие схемные решения каталитического блока:

1. Осевая схема, где риформируемый поток равномерно распределяется по поперечному сечению каталитического блока и проходит параллельно геометрической оси каталитического блока. Предварительный нагрев газовой смеси, подаваемой на конверсию, производится вне риформера. В данной схеме может использоваться как блочный катализатор, так и гранулированный. Вариант конструктивного решения представлен на рис. 3.

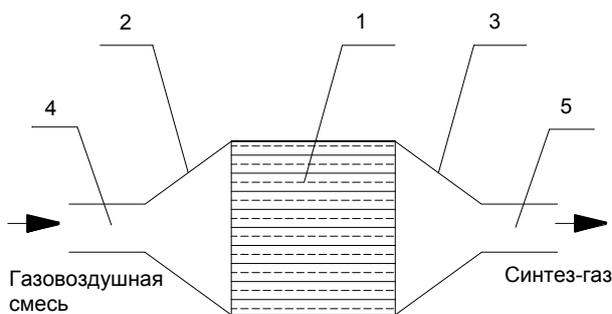


Рис. 3. Состав риформера: 1 – катализатор; 2 – диффузорный участок; 3 – конфузурный участок; 4 – патрубок подачи потока на риформинг; 5 – патрубок выхода синтез-газа
Fig. 3. Composition of the reformer: 1 – catalyst; 2 – diffusion section; 3 – convergent section; 4 – branch pipe for flow supply to reforming; 5 – branch pipe for synthesis gas output

2. Осевая схема с рекуперацией отходящего тепла синтез-газа. На рис. 4 приведено схемное решение нагрева газовой смеси, подаваемой на конверсию, отбираемым теплом отходящего синтез-газа. Это обеспечивается интегрированием в конструктив

риформера теплообменного аппарата – рекуператора. Конструктивное исполнение рекуператоров может быть разнообразным: трубчатый, пластинчатый и т.д. в зависимости от назначения генератора синтез-газа. Данная схема повышает к.п.д. системы из-за уменьшения тепловых потерь за счет прогрева потока, подаваемого на конверсию. Одновременно уменьшаются в целом габаритно-массовые характеристики системы.

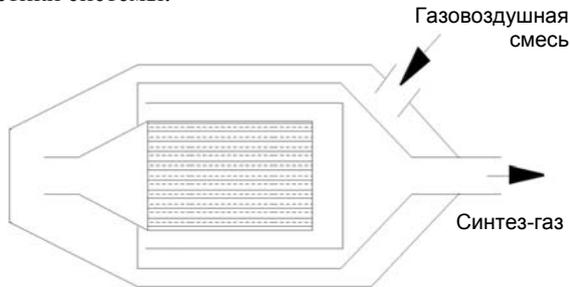


Рис. 4. Схема каталитического блока с рекуперацией отходящего тепла синтез-газа
Fig. 4. Scheme of catalytic unit with the recuperation of lost heat of the synthesis-gas

3. Радиальная схема (рис. 5), где риформируемый поток равномерно распределяется по поперечному сечению каталитического блока и проходит радиально геометрической оси каталитического блока. Преимущества данной схемы в том, что конструкция позволяет увеличить лобовую поверхность каталитического блока, уменьшить гидравлическое сопротивление блока за счет увеличивающегося поперечного сечения катализатора – с ростом скоростного напора риформируемого потока одновременно возрастает площадь поперечного сечения. Данная схема применима для гранулированных и пластинчатых катализаторов.

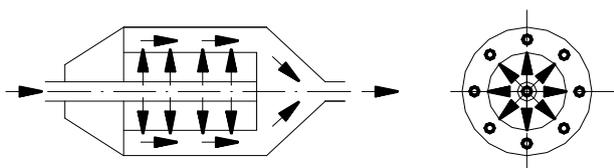


Рис. 5. Радиальная схема каталитического блока с равномерно распределенным риформируемым потоком по поперечному сечению
Fig. 5. Radial scheme of catalytic unit with uniformly distributed reforming flux on cross-section

4. Различные сочетания осевых и радиальных схем распределения потоков. Радиально-осевая схема обеспечивает осевой реверс риформируемого потока, где риформируемый поток распределяется по поперечному сечению каталитического блока радиально-послойно.

5. Плоская с внешней подачей потока на конверсию (рис. 6).

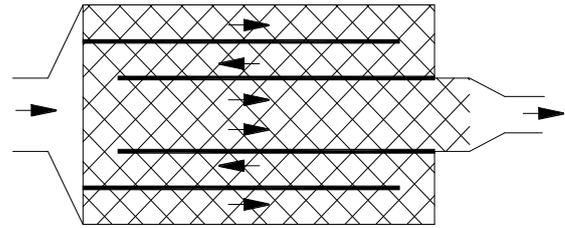


Рис. 6. Плоская схема каталитического блока
Fig. 6. Plane scheme of catalytic unit

Система рекуперации – встроенный теплообменный аппарат для отбора тепла от отходящего синтез-газа для подогрева смеси, подаваемой на конверсию. Стрелками показано движение газовой смеси (рис. 7).

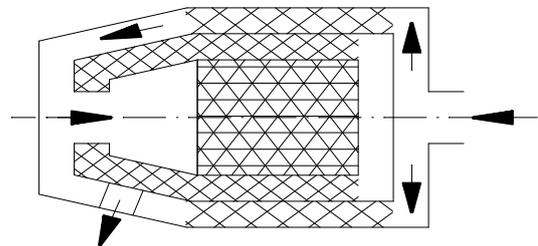


Рис. 7. Система рекуперации
Fig. 7. Recuperation system

Система подготовки и подачи газовой смеси на конверсию

Важной задачей разрабатываемых генераторов синтез-газа является обеспечение гомогенности смеси, подаваемой на конверсию, и обеспечение равномерности массового расхода потока по поперечному сечению каталитического блока. Первая часть задачи решается разработкой смесителя природного газа с воздухом.

Целью разработки генератора синтез-газа (ГСГ) с использованием технологии смешанной паруголекислотной конверсии с термохимической рекуперацией является снижение расхода топлива, эмиссии CO_2 и токсичных компонентов (CO , CH , NO_x) двигателями внутреннего сгорания. В настоящее время разработка системно-топливных элементов для применения на движущемся транспорте опирается на следующие положения [38, 39]:

- выбор «правильного» топлива;
- анализ новой технологии и возможность ее долговременной работы;
- возможность снижения потребления энергии и низкие выбросы;
- возможность снижения цены с позиций настоящего положения.

Очень привлекательным топливом для такого применения является метанол и этанол [40-43]. Они могут быть произведены как из природного газа, так

и из нефти, угля или дерева. Подобно бензину они являются жидкими при комнатной температуре и окружающем давлении, что весьма облегчает их транспортировку и хранение. Метанол и этанол имеют простую химическую формулу со связями, которые легко могут быть разорваны, чтобы высвободить водород, причем содержание водорода также высоко. Выигрышем в использовании метанола является то, что реакция риформинга может проводиться при низкой температуре, около 300 °С (800 °С для углеводородов). Отсутствие серы и других нежелательных компонентов облегчает проведение каталитического процесса.

Институтом катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН представлен [44] разработанный бортовой генератор синтез-газа, который состоит из каталитического реактора воздушной конверсии углеводородного топлива в синтез-газ, систем дозирования топлива и воздуха, устройства для запуска, системы охлаждения. Катализатор выполнен на основе металлосетчатого носителя, на который нанесен активный компонент с наночастицами никеля. Рабочая температура 850–900 °С, производительность по синтез-газу 5–25 м³/ч.

Природный газ – топливо, которое уже применяется на движущихся транспортных средствах. Основным компонентом природного газа является метан с небольшим содержанием других углеводородов, а также азота, водорода и гелия. Метан имеет наивысшее отношение водорода к углероду по сравнению со всеми потенциальными углеводородными топливами. Это означает, что водород, содержащий газ для топливного элемента, будет иметь наивысшее содержание водорода и низшее содержание двуокиси углерода. К тому же существует сеть для распределения природного газа. Однако использование емкостей с природным газом и водородом на автомобиле встречает много проблем. Природный газ легче и проще сжать, чем водород, но в то же время сжатие природного газа требует тяжелых громоздких емкостей, которые в 3–4 раза больше требуемых для бензина. Сжиженный природный газ имеет большую плотность энергии, но должен храниться при температурах около –180 °С, что требует тщательной изоляции.

Многие исследователи считают, что обычные топлива являются весьма перспективными для производства водородсодержащих газов [34, 45, 46] из-за наличия инфраструктуры производства и распределения природного газа, бензина, дизельного и авиационного топлива. Важным аспектом при этом являются также цена и доступность. Существование готовой структуры сводит затраты на распределение топлива к минимуму. Большинство усилий разработчиков сосредоточено на бензине. Для риформинга топлива весьма важно содержание серы, интервал кипения, содержание ароматических веществ, отношение водорода к углероду в цепи, энергетическое содержание, воспламеняемость, а также возможность

хранения и распределения. Однако рыночный бензин представляет собой смесь углеводородов, которые имеют различные свойства. Кроме того, большое содержание серы в бензине приводит к отравлению катализатора [3, 35]. Такие компоненты бензина и дизельного топлива, как ароматические вещества, довольно трудны для риформирования [4]. На практике жидкое топливо сначала трансформируется в метан в предриформере [47].

Конструкция топливного процессора должна исключать газофазные реакции и теплотери. Кроме того, снижение тепловой емкости всего устройства способствует быстрому зажиганию процесса. Газовые реакции могут быть сведены к минимуму в том случае, если реагенты вводятся и хорошо перемешиваются как можно ближе к поверхности катализатора риформинга. Кроме того, в структуре самого катализатора свободный объем между каталитическими поверхностями должен быть также сведен к минимуму. Таким образом, геометрические особенности катализатора являются также чрезвычайно важными для уменьшения сопротивления тепло- и массопереносу, что способствует высоким значениям нагрузки на катализатор [7].

Так как для технической реализации реактора весьма важно минимизировать вес и размер устройства, то использование монолитных блочных типов катализатора в реакторе имеет серьезные преимущества перед обычными типами реактора с неподвижным слоем катализатора. Одним из существенных преимуществ такого реактора с монолитным катализатором является низкое падение сопротивления. Быстрый нагрев является еще одним существенным требованием, которое нужно принять во внимание при разработке конструкции. Короткие времена контакта по катализатору также необходимы для достижения быстрого отклика системы на изменение нагрузки. Как сама конструкция, так и материалы, из которых она изготовлена, являются чрезвычайно важными для разработки реактора. Тепловая емкость катализатора также должна быть сведена к минимуму, чтобы иметь возможность быстрого изменения нагрузки. В этом случае материалы с высокой теплопроводностью имеют большие преимущества [4].

Генераторы синтез-газа, опыт их разработки и производства будут являться технической основой для создания процессоров получения водорода из природного газа как на борту автомобилей, так и на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях с максимально возможной регенерацией тепла и термохимического потенциала отработавших газов, что создаст условия для организации производства автомобилей с ДВС (как частного случая тепловой машины), работающих на смесях водорода с углеводородным топливом и на чистом водороде с более высоким к.п.д., с более эффективным расходом топлива и меньшим количеством токсичных выбросов.

Заключение

Проводимые сегодня в водородной энергетике расчетно-экспериментальные работы подтверждают перспективность направления по повышению экономичности и улучшению экологических характеристик ДВС путем введения в камеру сгорания водородсодержащего газа, вырабатываемого генератором синтез-газа на борту автомобиля.

Риформинг углеводородов с термодинамической точки зрения можно разделить на два процесса, по существу отличающихся друг от друга. Один из них – эндотермический паровой риформинг. Другой – экзотермический процесс парциального окисления, в котором топливо реагирует непосредственно с воздухом или обогащенным воздухом, с тщательно сбалансированным отношением воздух–топливо. Управление потоками тепла, или интегрирование топливного процессора по теплу, является ключом к достижению высокой эффективности всего процесса.

Оптимальным представляется продвижение технологии термохимической регенерации сначала в автомобильной промышленности с последующим расширением использования разработок в других отраслях.

Природный газ рассматривается в обозримом будущем как топливо, позволяющее существенно снизить загрязнение атмосферы, а также как основной исходный продукт для получения наиболее дешевого водорода.

Проект выполнен в рамках Государственного контракта П-343 от 07.05.2010 г. Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Список литературы

1. Яковлев А.И., Эйдинов А.А. Взгляд на перспективы развития энергетических установок автомобилей // Автостроение за рубежом. 1998. № 10-12.
2. Бризицкий О.Ф., Терентьев В.Я., Христоробов А.П., Золотарский И.А., Кириллов В.А., Собянин В.А., Садыков В.А., Мирзоев Г.К., Сорокин А.И. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной экономичности и улучшения экологических характеристик автомобилей // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2004. № 11(19).
3. Song C. // Catal. Today, 77 (2002) 17-49.
4. Pettersson L.J., Westerholm R. // Int. J. Hydrogen Energy, 26 (2001) 243-264.
5. Ahmed S., Lee S.H., Doss E., Pereira C., Colombo D., Krumpelt M. // J. of Power Sources, 105 (2002) 195.
6. Krumpelt M., Krause T.R., Carter J.D., Kopasz J.P., Ahmed S. // Catal. Today, 77 (2002) 3-16.
7. Krumpelt M., Krause T.R., Carter J.D., Kopasz J.P., Ahmed S. // Catal. Today, 77 (2002) 3-16.
8. Inui T. // Stud. Surf. Sci. Catal., 77 (1993) 17.

9. Inui T., Fujioka K., Tanakulrungsank W., Takeguchi T. // Stud. Surf. Sci. Catal., 77 (1993) 369.
10. Wang H.Y. and Ruckenstein E. // Catal. Lett., 59 (1999) 121-127.
11. Tang S., Lin J., Tan K.L. // Catal. Lett., 59 (1999) 129-135.
12. Liu S., Xiong G., Yang W., Xu L., Xiong G., Li C. // Catal. Lett., 63 (1999) 167-171.
13. De Smet C.R.H., de Croon M.H.J., Berger R.J., Marin G.B., Schouten J.C. // Appl. Catal., A: Gen., 187 (1999) 33-48.
14. Beretta A., Groppi G., Majocchi L., Forzatti P. // Appl. Catal., A: Gen., 187 (1999) 49-60.
15. Au C.T., Ng C.F., Liao M.S. // J. of Catal., 185 (1999) 12-22.
16. Wang H.Y., Ruckenstein E. // J. of Catal., 186 (1999) 181-187.
17. Nakagawa K., Ikenaga N., Teng Y., Kobayashi T., Suzuki T. // J. of Catal., 186 (1999) 405.
18. Ruckenstein E. and Wang H.Y. // J. of Catal., 187(1999) 151-159.
19. Iordanoglou D.L., Bodke A.S. and Schmidt L.D. // J. Catal., 187 (1999) 400.
20. Majocchi L., Groppi G., Cristiani C., Forzatti P., Basini L. and Guarinoni A. // Catal. Lett., 65 (2000) 49-56.
21. Pantu P., Kim K. and Gavalas G.R. // Appl. Catal., A: Gen., 193 (2000) 203-214.
22. Maiya P.S., Anderson T.J., Mievil R.L., Dusek J.T., Picciolo J. and Balachandran U. // Appl. Catal., A: Gen., 196 (2000) 65-72.
23. Ruckenstein E. and Wang H.Y. // J. of Catal., 190 (2000) 32-38.
24. Fathi M., Monnet F., Schuurman Y., Holman A. and Mirodatos C. // J. of Catal., 190 (2000) 439-445.
25. Armor J.N. // Appl. Catal. A 1999, 176, 159-167.
26. Ahmed S.; Krumpelt M. // Int. J. Hydrogen Energy. 2001, 26, 291-301.
27. Bakkerud P.K.; Gol J.N.; Aasberg-Petersen K.; Dybkjaer I. // In Natural Gas Conversion Symposium VII; Bao, X.; Xu, Y.; Eds.; Studies in Surface Science and Catalysis; Elsevier: Amsterdam, NL, 2004; Vol. 147, pp 13-18. Inui, T.
28. Hickman, D.A. // Catalysis. 2002, 16, 133-154.; Schmidt, L.D. // Science. 1993, 259, 343-346.
29. Choudhary V.R., Rajput A.M., Rane V.H. // Catal. Lett., 16 (1992) 269-272.
30. Joensen F., Rostrup-Nielsen E.R. // J. of Power Sources, 105 (2002) 195-201.
31. Song C., Eser S., Schobert H.H., Hatcher P.G. // Energy fuels, 7(2) (1993) 234-243.
32. Song C., Lai W.C., Schobert H.H. // Ind. Eng. Chem, Res. 33(30) (1994) 534-547.
33. Emonts B., Bøglid Hansen J., Grube T., Höheline B, Peters R., Schmidt H., Stolten D., Tschauder A. // J. of Power Sources, 106 (2002) 333-337.
34. Teagan W.P., Bentley J., Barnett B. // J. of Power Sources, 71 (1998) 80-85.
35. Costamagna P., Srinivasan S. // J. Power Sources, 102 (2001) 253-269.

36. Docter A. and Lamm A. // J. of Power Sources, 84 (1999) 194-200.
37. Zalc J.M., Löfler D.G. // J. of Power Sources, 111 (2002) 58-64.
38. Höhle B., von Andrian S., Grube Th., Menzer R. // J. of Power Sources, 86 (2000) 243-249.
39. Ogden J.M., Steinbugler M.M., Kreutz T.G. // J. of Power Sources, 79 (1999) 143-168.
40. Reitz T.L., Ahmed S., Krumpelt M., Kumar R., in: Proceedings of the Technical Program of 16th Meeting of North American Catalysis Society, Boston, Canada, 30 May - 4 June 1999, p.107.
41. Ioannides, T. // J. of Power Sources, 92 (1) (2001) 17-25.
42. Fishtik I., Alexander A., Datta R., in: Proceedings of the Technical Program of 16th Meeting of North American Catalysis Society, Boston, Canada, 30 May - 4 June 1999, p.108.
43. Jenkins J.W., Shutt E. // Plat. Metals. Rev. 33 (3) (1989) 118.
44. В мире нано, приложение к журналу Российские нанотехнологии, № 1 2009.
45. Chintawar P.S., Papile C., Mitchell W.L., in: Proceedings of the Technical Program of 16th Meeting of North American Catalysis Society, Boston, Canada, 30 May - 4 June 1999, p.109.
46. Farrauto R.J., in: Proceedings of the Symposium of Clean Processes and Environment: The Catalytic Solution, Lyon, France, 6-8 December 1999.
47. Joensen F., Rostrup-Nielsen E.R. // J. of Power Sources, 105 (2002) 195-201.





ПОДПИСКА – 2010
на июль-декабрь
по Объединенному каталогу
«Пресса России»

На почте с июля 2010 г. проводится
подписная кампания на

Международный научный журнал
«Альтернативная энергетика
и экология»

по Объединенному каталогу Пресса России
«ПОДПИСКА-2010, второе полугодие»

Условия оформления подписки
(аннотация, индексы, стоимость)
вы найдете в I томе каталога

ТРЕБУЙТЕ ОБЪЕДИНЕННЫЙ КАТАЛОГ
НА ПОЧТЕ!

Контактный номер телефона специалиста
по распространению (495) 661-20-30