

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ЦИКЛИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ТОПЛИВА

Геннадий Павлович Барчан, д.х.н.

Химическая термодинамика регенерации рабочего тела двигателя.

Chemical Thermodynamics of Engine with regeneration working fluid.

Ключевые слова: химическая термодинамика, двигатель, регенерация.

Keywords: *Chemical Thermodynamics, Engine, Regeneration.*

Большинство современных технологий получения механической энергии основаны на непосредственном сжигании углеводородного топлива (или отдельно взятых его элементов, например, угля или водорода) в газогенераторах. В двигателях внутреннего сгорания газогенератором является камера сгорания, а в двигателях внешнего сгорания - топка. Процесс основан на полном окислении водорода и углерода до воды и углекислого газа и последующем преобразовании тепловой и кинетической энергии образовавшихся газов и паров в механическую энергию. Чем полнее проведен процесс окисления, тем совершеннее двигатель.

Отработавшие продукты сгорания двигателя выбрасываются в атмосферу и загрязняют её.

Перспективы развития силовых установок, работающих на альтернативных источниках чистой энергии, всесторонне оценил П.Л. Капица [1]. Они не являются и не смогут являться альтернативой существующим двигателям внутреннего сгорания, поскольку не могут использоваться в силовых установках большой мощности, в транспортных двигателях и в двигателях различного мобильного и технологического оборудования. Кроме того, они значительно дороже двигателей внутреннего сгорания, требуют для размещения больших площадей и больших капитальных затрат на создание. Их практическое использование показало, что они далеки от совершенства и, решая проблему замены углеводородных топлив из ископаемого сырья, сокращения тепловых выбросов и углекислого газа в атмосферу, порождают другие проблемы, пагубное влияние которых на окружающую среду в условиях повсеместного использования, не менее значимо.

В свете изложенного, задача освоения производства и дальнейшего развития работ по созданию двигателей внутреннего сгорания с неполным окислением и циклической регенерацией топлива, не потребляющих топлива из ископаемых источников энергии и не имеющих выбросов продуктов сгорания в атмосферу, представляется актуальной для цивилизации в целом. Эти двигатели могут использоваться взамен всех существующих двигателей внутреннего и внешнего сгорания известных конструкций. Далее приведен обзор материалов патентов и заявок на получение патентов, полученных и поданных автором статьи, позволяющих решить эту проблему [3-10].

Область применения описываемых двигателей, поскольку они являются силовыми установками, работающими по принципу полигенерации с теоретически нулевым расходом топлива и отсутствием вредных выбросов, гораздо шире, чем у традиционных двигателей внутреннего сгорания.

Механизмы преобразования энергии газов в механическую энергию могут быть любой известной конструкции: турбина, цилиндропоршневая или роторнопоршневая группа - и другие, однако предпочтение следует отдать турбинам, поскольку, они лишены недостатков присущих двигателям с периодической подачей топлива в камеры сгорания. Конструкция описываемых двигателей традиционна для компрессионных двигателей внутреннего сгорания. Основные отличия: использование кислородной установки с подачей кислорода в газогенератор вместо воздушного компрессора и использование реакторов гидрирования оксидов углерода (реакторы регенерации топлива) вместо глушителя [3-10]. Мощность и производительность кислородных

компрессоров примерно в 10 раз меньше воздушных. Двигатели имеют блочно-модульную конструкцию. Мощность двигателя в одном модуле ограничена минимальной мощностью микротурбин (20 Вт) и производительностью химических микрореакторов. Максимальная мощность - только мощностью производимых турбин: 600...650 МВт.

Процесс работы двигателя основан на неполном (парциальном) окислении углерода топлива кислородом, получаемым из воздуха, до монооксида или смеси моно- и диоксидов углерода с преобладанием монооксидов. В результате образуется смесь водорода и оксидов углерода. Эта смесь является рабочим телом двигателя. В промышленности эту смесь называют синтез-газом, сингазом, генераторным газом, коксовым газом, водяным газом и другими названиями. Регенерация отработанного в цикле двигателя рабочего тела в углеводородное топливо осуществляется каталитическим гидрированием образовавшейся смеси водорода и оксидов углерода. Оба процесса экзотермические. Процессы гидрирования моно- и диоксида углерода разработаны П. Сабатье (1902 г. и 1904 г.). Процесс олигомеризации при каталитическом гидрировании монооксида углерода в промышленном масштабе - Ф. Фишером и Г. Тропшем в 1933 году [2].

Одна из многих возможных схем устройства двигателя с материальными потоками представлена на рисунке 1. Двигатель имеет два рабочих контура: газовый, работающий по изобарному циклу, который аналогичен циклу жидкотопливного ракетного двигателя, и паровой, работающий по традиционному циклу Ренкина. Паровые и водяные котлы являются частью системы охлаждения и поддержания заданной температуры на входе в реакторы двигателя и на выходе из газогенератора. Принципиальная схема двигателя идентична схеме традиционного двигателя внутреннего сгорания.

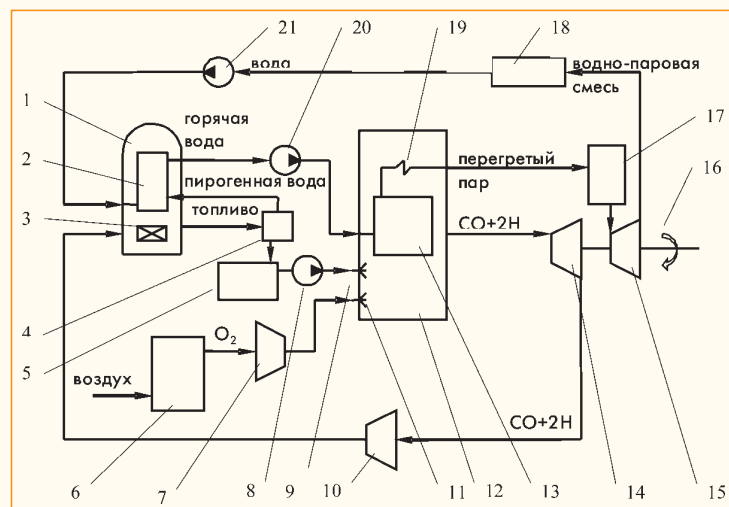


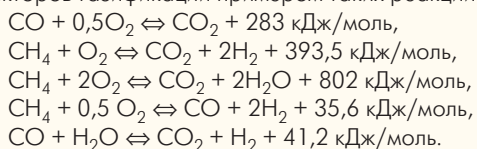
Рис. 1 Схема устройства двигателя:

- 1 - реактор гидрирования; 2 - водяной котел реактора гидрирования;
3 - котел-утилизатор; 4 - сепаратор; 5 - топливный бак; 6 - кислородная установка;
7 - кислородный компрессор; 8 - топливный насос; 9 - форсунка топливная;
10 - компрессор сингаза; 11 - форсунка кислородная; 12 - газогенератор;
13 - паровой котел газогенератора; 14 - турбина газовая; 15 - турбина паровая;
16 - нагрузка; 17 - сепаратор; 18 - конденсатор; 19 - пароперегреватель;
20 - насос горячей воды; 21 - водяной насос

Работа двигателя осуществляется следующим образом. Кислород из кислородной установки 6 компрессором 7 через форсунку 11 подают в газогенератор 12, а углеводородное топливо из реактора гидрирования 1, в который встроен котел 2, через сепаратор 4 подают в топливный бак 5. Топливо из топливного бака 5 насосом 8 через форсунку 9 в газогенератор (камеру сгорания двигателя) 12, в который встроен паровой котел 13 и перегреватель пара 19. В газогенераторе топливо газифицируют или конвертируют, в зависимости от агрегатного состояния топлива, в сингаз. Сингаз является рабочим телом газовой турбины двигателя 14. Тепловая и кинетическая энергия сингаза преобразуется в механическую энергию двигателя. Мольные отношения $H_2:CO$ и $H_2:CO_2$ в сингазе должны быть необходимыми и достаточными для полного гидрирования оксидов углерода. При мольном отношении $CO:CO_2$ меньше 1 дополнительный водород получают из перегретого пара или по другой известной технологии. Сингаз, охлажденный в турбине 14, компрессором 10 подают в реактор гидрирования 1, в котором он превращается в смесь углеводородов различного молекулярного состава и пирогенную воду. Пирогенную воду отделяют и сбрасывают в окружающую среду или используют для подпитки котлов. Смесь углеводородов возвращают в газогенератор 12. Цикл замыкается и образуется первый замкнутый газовый контур двигателя: газогенератор 12 - турбина 14 - реактор гидрирования 1 - газогенератор 12. Теоретически в цикле расходуется кислород и регенерированное топливо, кроме того, подлежат периодической замене гетерогенные катализаторы, если не используются гомогенные ионные. Продукты окисления углерода топлива в атмосферу не выбрасываются. В транспортных и маломощных двигателях допускается выброс в атмосферу излишней пирогенной воды.

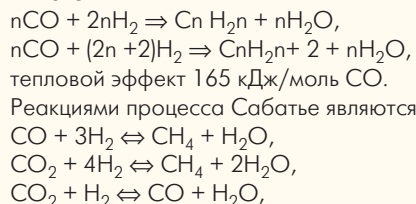
Паровой контур двигателя работает следующим образом. Перегретая вода из котла 2, расположенного в реакторе гидрирования 1, насосом 20 подается в котел 13, испаряется, поступает в перегреватель пара 19 и через сепаратор 17 в турбину 15, расположенную соосно с газовой турбиной 14. Отработанный в турбине пар конденсируется в конденсаторе 18 и насосом 21 возвращается в котел 2. Цикл замыкается и образуется второй замкнутый контур двигателя: котлы 2 и 13 - сепаратор 17 - турбина 15 - конденсатор 18 - паровой котел 2. Для компенсации потерь воды используется пирогенная вода и вода, полученная путем конденсации атмосферной влаги. Для получения атмосферного конденсата во всасывающем трубопроводе кислородной установки размещается система теплообменников, в которых поступающий воздух охлаждается или нагревается, в зависимости от климатических условий, до точки росы. Для компенсации энергозатрат на всасывание и дополнительного охлаждения воздуха в условиях повышенных атмосферных температур предусматривается использование проточной детандерной турбины. Такое дополнительное устройство обеспечивает автономность эксплуатации двигателей в любой климатической зоне Земли.

Тепловая мощность реакторов двигателя и состав продуктов газификации определяются используемыми катализаторами, преимущественно, ионными, а параметры процесса - назначением двигателя, его долговечностью и длительностью автономной эксплуатации. Тепло выделяемое в реакторах двигателя определяется многочисленными реакциями, протекающими как в процессе газификации топлива, так и в процессе каталитического гидрирования при регенерации топлива. Для практических расчетов выбирают базовые реакции, изменение энтальпии которых вносит наибольший вклад в экзотермический процесс реакторов. Для реакторов газификации примером таких реакций являются



В реакторах регенерации возможно протекание двух процессов: Фишера-Тропша и, в случае гидрирования диоксида угле-

рода, - Сабатье. Основными реакциями процесса Фишера-Тропша являются



а также реакции синтеза кислородсодержащих соединений, в результате которых образуются спирты, карбоновые кислоты, альдегиды, кетоны, эфиры.

Преимущества предлагаемых двигателей следующие:

- в случае использования ионных катализаторов - не нуждаются в периодически заменяемых расходных материалах;
- не имеют выхлопных газов и, следовательно, тепловых выбросов;
- потребляют в 4 раза меньше кислорода, по сравнению с традиционными двигателями;
- уровень шума работающего двигателя не превысит 42 дБ;
- себестоимость механической и тепловой энергии на три порядка величины меньше, чем у известных аналогов;
- энерготехнологические установки с двигателями работают по принципу полигенерации и не имеют производственных отходов;
- могут эксплуатироваться в любой климатической зоне Земли и за ее пределами;
- масса двигателей с запасом топлива значительно меньше массы всех известных тепловых энергетических установок, включая атомные;
- в специальном исполнении (при использовании ионных катализаторов) двигатели могут эксплуатироваться до 30 лет в автономном режиме без промежуточных сервисных работ;
- принципы, положенные в основу создания двигателей, могут быть использованы для реконструкции действующих и строительства новых паровых котлов и тепловых электростанций, обладающих значительно большей производительностью;
- себестоимость воды, получаемой из атмосферной влаги с помощью двигателей, меньше себестоимости пресной технической воды, получаемой из традиционных источников водозабора;
- простота конструкции;
- достижимая эффективность двигателя характеризуется следующими величинами: цикла Карно - 0,89, эксергетическая - 0,75.

Научные и технические решения, положенные в основу создания предлагаемых энергетических установок, прошли международную научную и технологическую экспертизу и получили положительную оценку. Все разработки защищены патентами России, США, Канады, Норвегии. Поданы две заявки на международное патентование.

□

Литература

1. Капица П.Л.. Энергия и физика. Вестник АН СССР, 1976, №1, с. 34-43.
2. Физер Л., Физер М. Органическая химия в 2 т. М., Химия 1969, т.1, с. 207, 308.
3. Barchan G. and others. Patent NO 322472
4. Barchan G. and others. Patent Application PCT/ NO 03/091549 A1
5. Barchan G. and others. Patent US 7337612 B2
6. Барчан Г.П. Патент RU 2323351
7. Барчан Г.П. Патент RU 2386819
8. Барчан Г.П. Патент RU 2524317
9. Barchan G. Canadian Patent Application № 2662053.
10. Барчан Г.П.. Заявка PCT /RU2013/000529

Связь с автором: barchan@inbox.ru, 8 495 544 93 50