

621.486:66.078

Энергетика сжиженных газов

Д-р техн. наук, проф. А.В. СИНЕВ, А.П. ПАШКОВ

ИМАШ РАН,

д-р техн. наук О.С. КОЧЕТОВ

МТУ им А.Н. Косыгина

Nun-uniform electrical energy consumption creates the problem of surpluses energy during low demand and its deficiency during peak loads. It is proposed to solve this problem using the unit containing a cryogenic Stirling engine and an electrical generator. Owing to peculiar features of Stirling engine, the unit can serve as a capacious energy storage (in the vessel with cryogenic liquid) and work as a generator in case of lack of electrical energy in the mains.

С момента открытия электричества и изобретения электрогенератора человечество научилось преобразовывать практически все известные виды энергии в электрическую. Как известно, электричество имеет большие преимущества перед другими источниками энергии как в плане его транспортировки, так и с точки зрения взрывобезопасности и экологичности механизмов, работающих на электроэнергии. Однако есть и проблемы, над которыми работают ученые разных стран: основные из них – вопросы экологии при получении электроэнергии (особенно при сжигании углеводородного и ядерного топлива), а также поиск новых технологий для возобновляемых источников энергии.

При всей актуальности этих задач существует еще и проблема сохранения «излишков» электроэнергии при малом ее потреблении и наоборот, необходимости в дополнительном количестве электроэнергии при пиковых нагрузках. Быстрый переход преобразователей энергии на экономный режим и обратно не всегда выгоден с точки зрения оптимального КПД, а иногда и невозможен. Поэтому появляется задача сохранения невостребованной электроэнергии, в настоящее время чаще всего решаемая с помощью электрохимических аккумуляторов, применение которых, в свою очередь, связано с рядом сложных проблем.

В Институте машиноведения им. А.А.Благонравова РАН при исследовании схем двигателя, использующего принцип тепловых газовых машин с внешним подводом теплоты, работающих по термодинамическому циклу Стирлинга [4, 5], было обращено внимание на то, что они допускают решение, невозможное для других тепловых машин, а именно можно понизить температуру как нагревателя, так и холодильника. Таким образом, нагревателем становится окружающая среда с присущей ей температурой, а холодильником – криогенная среда сжиженного газа. В результате полость расширения двигателя Стирлинга будет находиться при температуре окружающей среды, а полость сжатия – при криогенных температурах внутри криогенного сосуда.

Отсюда следует на первый взгляд парадоксальный вывод: если обычно при получении электроэнергии «тепловым» способом для повышения КПД преобразования борются за увеличение температуры сжигания топлива, то в нашем случае необходимо максимальное понижение температуры рабочего тела (сжиженного газа). Следовательно, для работы

установки, состоящей из криогенного двигателя и электрогенератора, необходим запас топлива в виде сжиженного газа, который можно получать, тратя «излишки» электроэнергии. В дальнейшем при повышении потребления электроэнергии установка подключается к потребителю.

Такая установка наиболее эффективно с точки зрения экологии будет работать в комплексе с «чистыми» источниками электроэнергии, такими, как ветровые или солнечные станции. При этом также будет выполняться функция стабилизации источника энергии при изменении ветрового потока или суточном изменении солнечного светового потока.

Предлагаемая для установки схема экологически чистого криогенного двигателя выполнена по материалам патентов [1, 2, 3]. Установка с двигателем по предлагаемой схеме используется как электрический аккумулятор чрезвычайно большой емкости, где энергия аккумулируется в сосуде с криогенной средой сжиженного газа. При этом теоретически термодинамический коэффициент полезного действия (КПД цикла Карно) может достигать 70 – 99 % в зависимости от выбранной криогенной среды и температуры окружающей среды.

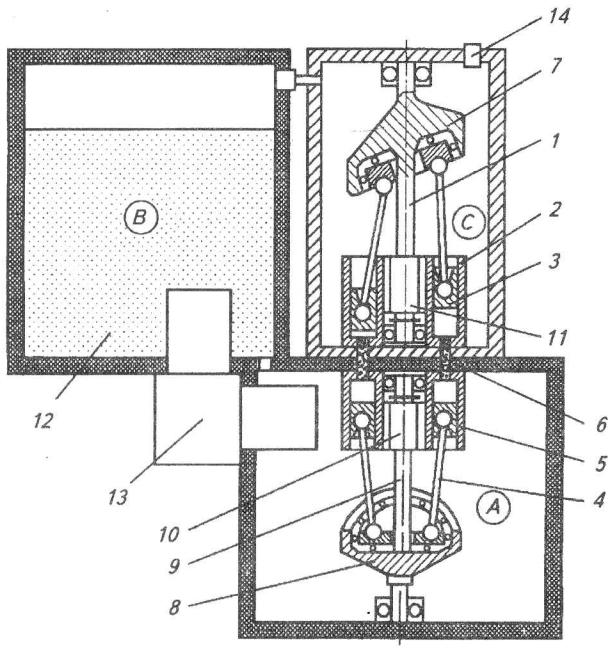
Крайне важно отметить, что установка забирает тепловую энергию для работы двигателя из окружающей среды, преобразуя ее в механическую или электрическую. А учитывая, что установка не выбрасывает в атмосферу продуктов горения, ее отличает повышенная экологическая чистота.

Проблемы, связанные с предлагаемым решением, во многом сопряжены с развитием современных технологий в области криогенных температур. Очевидно, что сосуд с криогенной средой, куда помещается механизм, должен обладать эффективной теплоизоляцией и системой защиты от внешних механических возмущений. И разумеется, необходимо комплексное исследование работоспособности узлов и механизмов, их долговечности в криогенной среде.

Рассмотрим основные особенности технического решения установки (см. рисунок).

Двигатель с внешним подводом тепла состоит из трех камер A, B и C, соединенных между собой и в целом образующих герметичную систему, заполненную газом в различных фазовых состояниях под давлением порядка 20 МПа.

Камеры A и B теплоизолированы. Стенки камеры C обладают высокой теплопроводностью, и внутренний ее объем имеет температуру окружающей среды.



Установка, состоящая из криогенного двигателя и электрогенератора, используемая в качестве аккумулятора энергии:

А и В – теплоизолированные камеры;

С – нетеплоизолированные камеры; 1, 9 – валы; 2, 5 – блоки цилиндров; 3 – поршины; 4 – шатуны; 6 – регенератор; 7, 8 – косые шайбы; 10 – ротор электрогенератора; 11 – ротор электродвигателя; 12 – рабочее тело (сжиженный газ); 13 – система заправки; 14 – клапан

Камера А постоянно заполнена криогенной средой – сжиженным газом 12, камера В первоначально также заполнена жидким криогенным газом, которая в процессе работы установки переходит в газообразную форму (расход рабочего тела). Камера С постоянно заполнена газом с температурой окружающей среды. Механизмы двигателя (блоки цилиндров расширения 2 и сжатия 5) размещаются в камерах А и С.

Цилиндры расположены параллельно оси вращения равномерно по окружности; их число больше 4, предпочтительно 7 или 9 в каждом блоке. В блоках 2 и 5 цилиндры расположены попарно соосно. В каждом цилиндре имеются поршины 3, соединенные через шатуны 4 со сферическими шарнирами с качающимися шайбами 7 (для блока цилиндров расширения) и 8 (для блока сжатия). Каждая пара соосных цилиндров блоков 2 и 5 соединена трубопроводами – регенераторами 6, где происходит процесс нагрева – охлаждения.

Блок цилиндров 5 находится в среде жидкого газа. Рабочим телом внутри цилиндров 2 является газ в газообразном состоянии. Геометрия механизмов такова, что цилиндрические поверхности шатунов 4 постоянно находятся своими прямыми линейными образующими на внутренних конических поверхностях поршней 3, что удерживает качающиеся шайбы 7 и 8 от проворачивания. Сдвиг по фазе между движениями шатунно-поршневых групп в соосных цилиндрах составляет 90°

благодаря наклону качающихся шайб 7 и 8 и повороту шайб относительно взаимно-перпендикулярных осей в плоскостях, перпендикулярных оси вала, что приближенно обеспечивает реализацию термодинамического цикла Стирлинга.

В теплоизолированной камере А расположен ротор электрогенератора 10, выполненного по технологии сверхпроводимости, с герметизированными электрическими выходами из камеры. Электрогенератор является основным способом передачи энергии от криогенного двигателя к исполнительным механизмам (возможен вариант снятия мощности с вала камеры С). В камере С расположен ротор электродвигателя 11.

Для обеспечения работоспособности двигателя с внешним подводом тепла вращение валов 1 и 9 должно быть синхронным, что достигается с помощью управляющего процессора. При наличии углового рассогласования валов генератора и электродвигателя процессор выдает сигнал на согласующий усилитель, который устраняет рассогласование, ускоряя или замедляя движение ротора электродвигателя 11, что и обеспечивает синхронное движение качающихся шайб.

Схема синхронизации значительно упрощается в случае механического соединения валов 1 и 9. При этом отпадает необходимость применения электродвигателя, однако возникают проблемы минимальной теплопередачи по соединительному элементу и эффективного уплотнения между камерами А и С. Следует также учесть, что в этом случае обе камеры будут жестко связаны между собой, и их перемещение относительно друг друга становится проблематичным (в описанном ранее варианте связь между камерами электрическая и посредством системы регенератора, что дает возможность различных вариантов компоновки камер).

Проведенные (достаточно условные) расчеты показывают, что по массогабаритным характеристикам предлагаемая установка превзойдет энергетическую установку с двигателем внутреннего сгорания и при этом будет экологически чистой, используя возобновляемое «криогенное топливо». Аккумулирующая емкость установки в массогабаритных соотношениях может превышать двигатели внутреннего сгорания на легком и тяжелом углеводородном топливе (бензиновые и дизельные). Следовательно, применение газовых двигателей, работающих по циклу Стирлинга, создает предпосылки новой криогенной энергетики мобильных и стационарных машин, где топливом выступают сжиженные газы (азот, водород, гелий).

Список литературы

- Патент № 2157459. Двигатель с внешним подводом теплоты / А.В. Синев, В.А. Попович, Ю.В. Масленков, О.С. Кочетов. ИМАШ РАН. Опубл. БИ № 28, ФИПС, 2000.
- Патент № 2177069. Двигатель с внешним подводом теплоты / А.В. Синев, А.И. Пашков, В.А. Попович, Ю.В. Масленков, О.С. Кочетов. ИМАШ РАН. Опубл. БИ № 35, ФИПС, 2000.
- Патент № 2200863. Двигатель с внешним подводом теплоты / А.В. Синев, В.М. Генкин, А.И. Пашков, В.А. Попович, О.С. Кочетов. ИМАШ РАН. Опубл. БИ № 8, ФИПС, 2003.
- Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга. – М.: Мир, 1986.
- Уокер Г. Двигатели Стирлинга. – М.: Машиностроение. 1985.