

УДК 62-97/-98(608.4)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА В ТРИГЕНЕРАЦИОННОМ ЦИКЛЕ

**Фирсова Е.В., Соколов В.Ю.**

*ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет, Оренбург, e-mail: teploosu@mail.ru*

Рассмотрев когенерационные установки и проведя анализ всех их положительных и отрицательных сторон, нами была разработана тригенерационная установка с использованием двигателя Стирлинга. В данной установке используются три теплообменника в одном корпусе и абсорбционная холодильная машина для одновременного производства электрической, тепловой энергии и хладаносителя, что позволяет в бытовых условиях вырабатывать необходимые виды энергии для энергообеспечения частных лиц, не заинтересованных в продаже и передаче по магистралям энергоносителей большому количеству потребителей. Разработанная нами установка дает повышение коэффициента полезного действия, более простое обслуживание, компактность, возможность использования в бытовых условиях, является энергоэффективной и энергосберегающей.

**Ключевые слова:** тригенерация, двигатель Стирлинга, двигатель внешнего сгорания, энергоэффективность

## ENGINE STIRLINGA USE IN TRIGENERATION THE CYCLE

**Firsova E.V., Sokolov V.U.**

*GOU VPO «The Orenburg State University», Orenburg, e-mail: teploosu@mail.ru*

Having considered cogeneration installations and having carried out the analysis all of them positive and negative sides, we had been developed trigeneration installation with engine Stirlinga use. In the given installation three heat exchangers in one case and the absorbing refrigerator for simultaneous manufacture electric, thermal energy and cold carrier are used that allows to develop in conditions of life necessary kinds energy for power supply of the private persons who have been not interested on sale and transfer on highways of energy carriers to a considerable quantity of consumers. The installation developed by us gives efficiency increase, more simple service, compactness, use possibility in conditions of life, is power effective and power saving up.

**Keywords:** trigeneration, engine Stirlinga, the engine of external combustion, power efficiency

В настоящее время большинство индивидуальных потребителей получают различные виды энергии отдельно, то есть при использовании нагревательного котла потребители в лучшем случае получают энергоноситель для отопления и горячего водоснабжения; электрическая энергия поступает из центральных сетей; а хладаноситель получают с помощью специальных установок.

Использование двигателя Стирлинга совместно с котлом-утилизатором и абсорбционной установкой (рис. 1) позволяет получать все вышеперечисленные виды энергии, сжигая то же количество топлива, что и при сжигании топлива в котле для получения энергоносителя для отопления и горячего водоснабжения. Комбинированное получение «холода», тепловой и электрической энергии называется тригенерацией.

Преимущества тригенерационных установок сравнительно с когенерационными (при работе которых, вырабатывается одновременно два вида энергии: тепловая и электрическая) следующие:

- высокая эффективность использования топлива;
- возможность получения холода;
- отсутствие надобности в работе системы принудительного охлаждения, на которую расходуется часть производимой электроэнергии;

- получение энергоносителя для системы кондиционирования;

- возможность выборочного использования:

– в зимних условиях электрической энергии и тепла;

– в летних условиях электрической энергии и холода;

- одновременное использование тепла, холода и электрической энергии, как для собственных нужд, так и для продажи;

- удовлетворительные экологические параметры;

- снижение себестоимости электроэнергии для конечных потребителей за счет сведения до минимума расходов на выработку и транспорт.

Использование абсорбционных холодильных установок (АХУ) в системах тригенерации обеспечивает:

1) минимальные расходы на техническое обслуживание, поскольку в них отсутствуют подвижные детали;

2) низкую себестоимость «холода» благодаря высокому коэффициенту полезного действия АХУ;

3) получение «тихого холода», АХУ работают бесшумно.

Принцип абсорбционного охлаждения заключается в следующем (см. рис. 1).

Концентрированный раствор постоянно нагревается в десорбере 37 до температуры кипения теплом уходящих выхлопных газов.

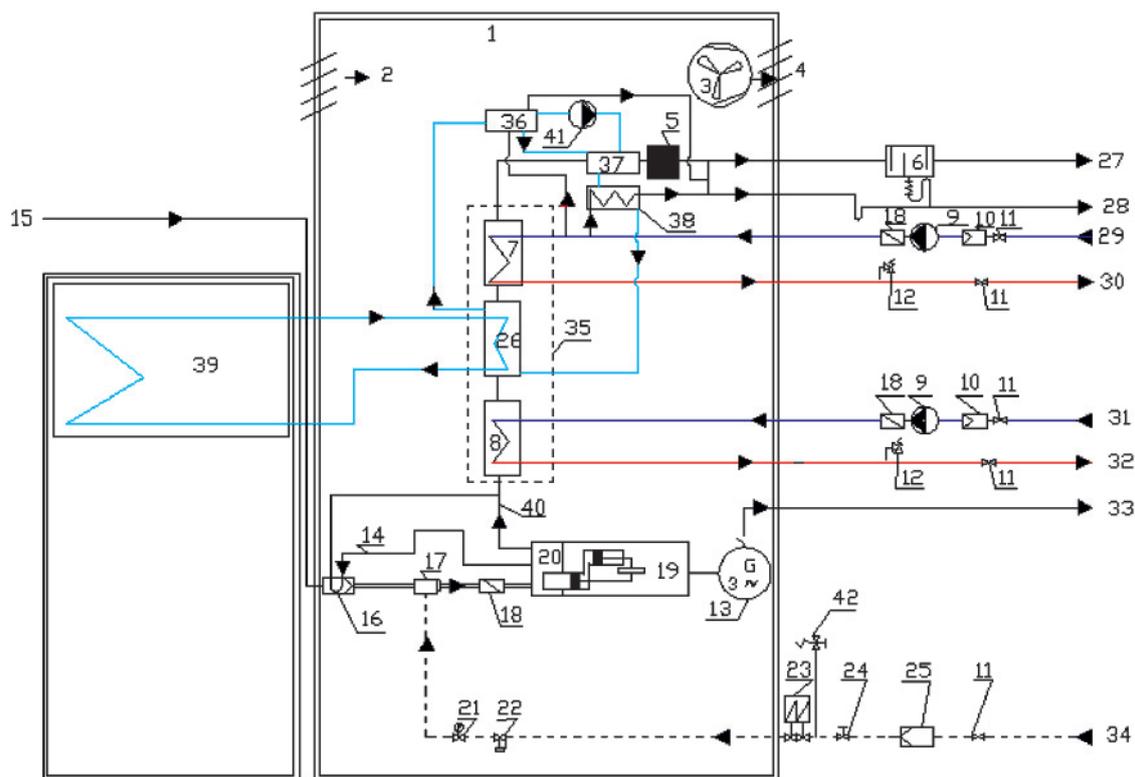


Рис. 1. Принципиальная схема использования двигателя Стирлинга в тригенерационном цикле: 1 – кожух шумоглушения; 2 – приточная вентиляция; 3 – вентилятор; 4 – вытяжная вентиляция; 5 – катализатор; 6 – глушитель шума выхлопа дымовых газов; 7 – теплообменник уходящих газов для горячего водоснабжения (ГВС); 8 – теплообменник уходящих газов для отопления; 9 – насосы системы отопления и ГВС; 10 – фильтры системы отопления и ГВС; 11 – запорные задвижки; 12 – предохранительный клапан; 13 – электрогенератор; 14 – приемник выхлопных газов; 15 – трубопровод подачи воздуха для сжигания топлива; 16 – воздушный фильтр; 17 – газоздушная смесительная камера; 18 – регуляторы скорости вращения и дроссель-клапаны; 19 – двигатель Стирлинга; 20 – камера сгорания топлива двигателя Стирлинга; 21 – лямбда – регулирующий клапан; 22 – электромагнитный клапан с регулятором нулевого давления; 23 – запорный электромагнитный клапан для автоматического прекращения подачи газа в системе автоматического управления газоиспользующими устройствами; 24 – отсечной электромагнитный клапан для прекращения подачи газа в системе управления газоиспользующими устройствами; 25 – газовый фильтр; 26 – теплообменник охлаждения абсорбционной машины (испаритель); 27 – отвод выхлопных газов из системы установки; 28 – слив конденсата; 29 – обратная линия ГВС; 30 – подающая линия ГВС; 31 – обратная линия системы отопления; 32 – подающая линия системы отопления; 33 – линия выработанного электрического тока; 34 – газопровод; 35 – котел-утилизатор; 36 – абсорбер; 37 – десорбер; 38 – конденсатор; 39 – охлаждаемый объект (холодильник); 40 – отработанные при сгорании газы; 41 – насос охлаждающей жидкости (термонасос); 42 – регулятор давления газа

Так как температура кипения хладагента значительно ниже температуры кипения растворителя (абсорбента), то в процессе выпаривания концентрированного раствора из кипятыльника выходят концентрированные пары хладагента с небольшим количеством растворителя. На пути движения к конденсатору 38 концентрированные пары хладагента проходят десорбер 37, в котором происходит частичная конденсация концентрированных паров. При этом образовавшийся конденсат стекает в концентрированный раствор, выходящий из кипятыльника, а более концентрированные

пары хладагента поступают в конденсатор 38.

Высококонцентрированный жидкий хладагент из конденсатора 38 поступает в испаритель 26, где он закипает при отрицательной температуре, отбирая тепло из холодильной камеры 39. Слабый раствор из холодильника 39 поступает в абсорбер 36 и охлаждается окружающей средой до температуры начала абсорбции. Выходящие из испарителя 26 пары хладагента также поступают в абсорбер 36 навстречу движущемуся охлажденному слабому раствору. В абсорбере 36 происходит процесс

поглощения (абсорбция) паров хладагента слабым раствором. При этом выделяется некоторое количество теплоты от абсорбции в окружающую среду. Образовавшийся в абсорбере концентрированный раствор термонасосом 41 передается в десорбер 37.

Благодаря исследованиям и инновациям производители абсорбционной холодильной машины (АХМ) достигли значительных успехов в технологии абсорбционного охлаждения. Коэффициент полезного действия АХМ в настоящее время составляет 0,31–0,33. При этом электрический коэффициент полезного действия двигателя Стирлинга типа гамма – 0,35–0,38, а тепловой – 0,28–0,36. И тог-

да суммарное получение энергии близко к единице.

Принцип работы двигателя Стирлинга типа гамма (рис. 2, а) заключается в постоянно чередующихся циклах нагрева и охлаждения газа в закрытом цилиндре. При нагреве воздух в цилиндре 7 расширяется и двигает рабочий поршень 6. Этот поршень 6 опускается, толкает шатун 13 и поворачивает маховик 12. Одновременно изменяется положение вытеснительного поршня 10, который перемещает из нагретой зоны в холодную. Воздух остывает и создает обратное усилие на рабочий поршень 6. Вытеснитель 10 затем перемещает воздух в рабочую зону, и весь цикл повторяется.

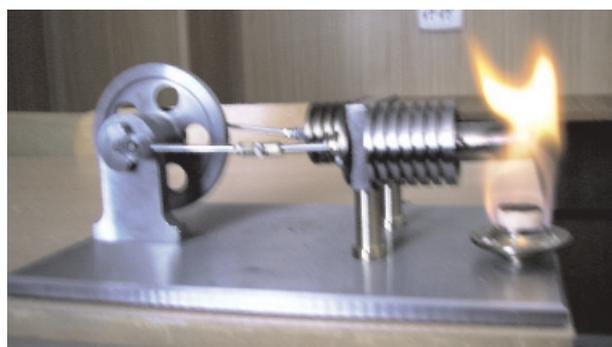
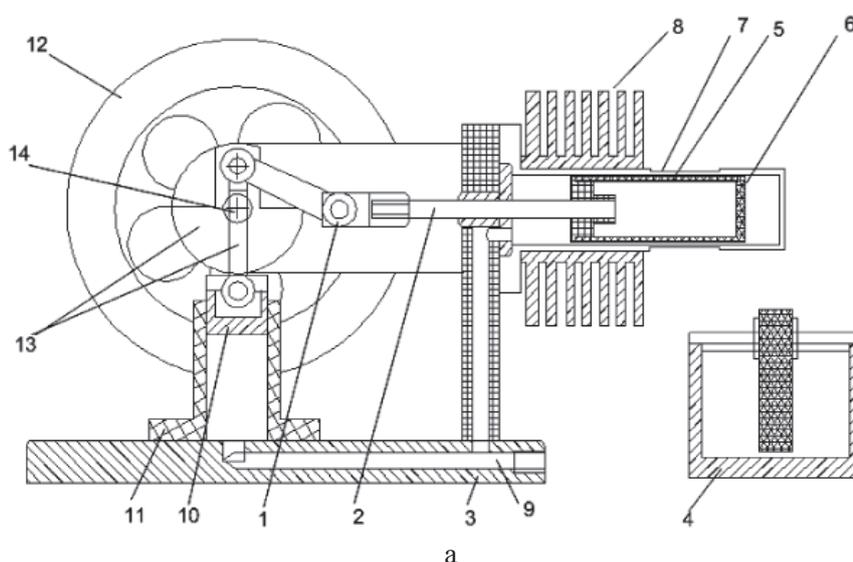


Рис. 2. Принцип работы двигателя Стирлинга  
а – принципиальная схема двигателя Стирлинга типа гамма;  
б – общий вид двигателя Стирлинга типа гамма;  
1 – ползун; 2 – шток; 3 – корпус;  
4 – источник; 5 – теплоизолирующее наполнение; 6 – рабочий поршень;  
7 – теплообменный цилиндр; 8 – орбрение; 9 – соединительная труба;  
10 – вытеснительный поршень;  
11 – рабочий цилиндр; 12 – маховик;  
13 – шатуны; 14 – выходной вал

Механическая работа маховика 12, в свою очередь, передается на генератор 13 (см. рис. 1) и вырабатывается электрическая энергия 33 (см. рис. 1), идущая к потребителю.

Уходящие газы (далее по рис. 1), проходя через котел-утилизатор 35, нагревают энергоноситель для подачи горячего водоснабжения и отопления. Остывшие уходящие газы, проходя через катализатор 5, уходят в окружающую среду.

Преимущества выбора двигателя Стирлинга типа гамма, как основной энергетической установки, следующие:

1. Возможность использования любого источника тепла – как двигателя внешнего сгорания, двигатель Стирлинга может работать от почти любого перепада температур: в нашем случае он работает от сжигания любого вида топлива под теплообменным цилиндром 7.

2. Простота конструкции – конструкция двигателя Стирлинга типа гамма очень проста, он не требует дополнительных систем, таких как газораспределительный механизм. Он запускается самостоятельно.

3. Увеличенный ресурс – отсутствие многих «нежных» агрегатов позволяет двигателю Стирлинга типа гамма обеспечить небывалый для других двигателей ресурс в несколько лет непрерывной работы.

4. Высокая теоретическая эффективность.

5. Большие возможности массового производства.

6. Внешнее сгорание обеспечивает крайне чистый выхлоп и дает возможность контролировать выходную электрическую мощность двигателя Стирлинга типа гамма уменьшением температуры горячей стороны, то есть имеется возможность управления производством электроэнергии без изменения параметров требуемого тепла.

Нами была изготовлена рабочая модель двигателя Стирлинга типа гамма (рис. 2, б), при исследовании которой мы смогли убедиться в использовании двигателей Стирлинга типа гамма в тригенерационном цикле. Также расчетным путем было доказано повышение коэффициента полезного действия при тригенерационном цикле и энергосбережение энергетических ресурсов, таких как топливо, электроэнергия и хладоноситель. Также данной установке не требуются посторонние энергоносители для ее обслуживания.

#### Список литературы

1. Теплотехника: учеб. для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.; под ред. А.П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

2. Попель О.С. Разработки ИВТ РАН по эффективному использованию возобновляемых источников энергии // Малые и средние ТЭЦ. Современные решения: материалы научно-практической конференции. Институт высоких температур РАН, Москва.

3. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. – М.: Мир, 1986.

4. Фирсова Е.В. Использование мини-ТЭЦ для тригенерации энергии // Энергетика: состояние, проблемы перспективы: Всероссийская научно-техническая конференция. – Оренбург, 2010. – С. 47–51.

5. Фирсова Е.В. Возможность использования двигателя Стирлинга в комбинированном источнике энергии // Энергетика: состояние, проблемы перспективы: Всероссийская научно-техническая конференция. – Оренбург, 2010. – С. 55–58.

6. Фирсова Е.В. Возможность тригенерации энергии при эксплуатации мини-ТЭЦ / Проблемы и достижения в промышленной энергетике: IX Международная научно-практическая конференция. Министерство промышленности и науки Свердловской области. – Екатеринбург, 2010. – С. 9–13.

#### Рецензенты:

Филатов М.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург;

Асманкин Е.М., д.т.н., профессор кафедры «Мобильные и энергетические средства», декан технического факультета ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург.

Работа поступила в редакцию 29.06.2011.