

# 04, апрель 2016

УДК 62-133.26, 621.11

### **Создание стенда, работающего по циклу Ренкина с углеводородным рабочим телом**

***Ансим К.А.**, студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»*

***Ципун А.В.**, студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»*

*Научный руководитель: **Леонов В.П.**, к.т.н.,  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»  
[tsipunav@student.bmstu.ru](mailto:tsipunav@student.bmstu.ru)*

В последнее время темпы роста энергопотребления значительно превышают темпы выработки. В связи с этим вопрос поиска новых источников становится все более актуальным.

Альтернативным подходом является совершенствование технологий более рационального использования топлива, то есть утилизации низкопотенциальной сбросовой теплоты.

Существует множество источников низкопотенциальной теплоты (<100С) как природных (геотермальные источники, концентрированное солнечное излучение) так и антропогенных (сбросовое тепло различных технологических процессов).

Эти источники можно использовать для привода теплоиспользующих теплотрансформаторов (АБХМ), либо для генерирования электроэнергии в силовых циклах: Брайтона, Ренкина, Стирлинга.

Однако реализация этих схем имеет определенные технологические проблемы, которые в условиях низкопотенциального источника серьезно снижают рентабельность установки. Цикл Брайтона – газовых цикл, в условиях малых температурных напоров требует установки габаритных теплообменных аппаратов и мощного компрессора. Цикл

Стирлинга, работающий на гелии, в свою очередь требует дорогостоящих высокоточных компонентов. Таким образом органический цикл Ренкина, работающий на углеводородах или хладонах оказывается наиболее эффективным: теплообмен при фазовых переходах позволяет получить более малые размеры теплообменников, наличие циркуляционного насоса, который сам по себе является менее габаритной и металлоемкой машиной упрощает установку, что вместе с уменьшенным расходом рабочего тела позволяет достичь минимальных размеров установки. Принципиальная схема силового парорасширительного цикла показана на рисунке 1.

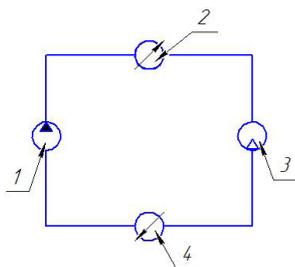


Рис. 1. Принципиальная схема силового парорасширительного цикла

Рабочее тело сжимается насосом(1) и подается в испаритель(2), где осуществляется подвод теплоты в цикл и кипение рабочего тела. После испарителя перегретый пар поступает в детандер(3), где совершает работу, выводимую из цикла. После этого расширенный пар поступает в конденсатор(4), где конденсируется, переохлаждается и подается снова в насос.

Для исследования парорасширительного цикла с низкотемпературным источником планируется создание опытного стенда на основе органического цикла Ренкина (рисунок 2).

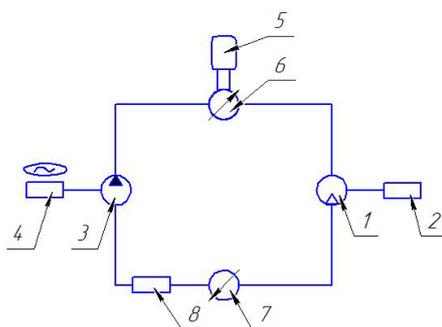


Рис. 2. Экспериментальный стенд для реализации парорасширительного цикла Ренкина с низкотемпературным источником тепла: 1 – спиральный детандер; 2 – тормозное устройство – синхронный генератор электрического тока с регулируемой нагрузкой; 3 – циркуляционный насос; 4 – асинхронный электродвигатель для привода насоса посредством ременной передачи; 5 – котел, моделирующий тепловую нагрузку на заданном температурном уровне; 6 – испаритель; 7 – конденсатор, использующий проточную воду; 8 – ресивера

Устройство котла показано на рис. 3.

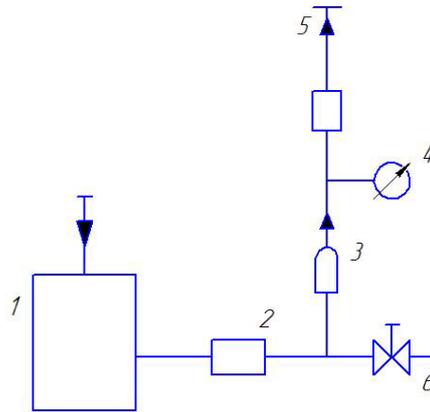


Рис. 3. Устройство котла: 1 – бак с промежуточным теплоносителем; 2 – циркуляционный насос; 3 – нагревательный элемент со встроенным реле; 4 – манометр; 5 – расходомер; 6 – сливной кран

Термодинамический анализ цикла показан на рисунке 4.

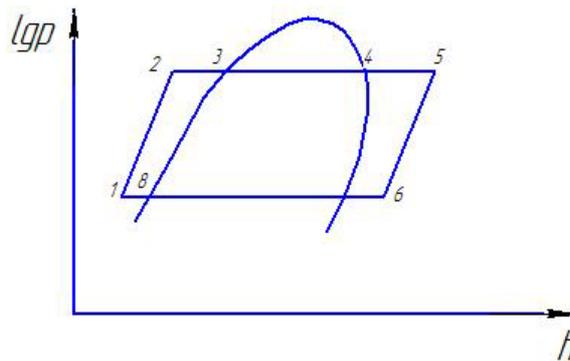


Рис. 4. Термодинамический анализ цикла. Процессы: 1-2 сжатие жидкости насосом; 2-3 подогрев жидкости в испарителе; 3-4 кипение; 4-5 перегрев пара; 5-6 расширение пара в детандере; 6-7 охлаждение пара; 7-8 конденсация; 8-1 переохлаждение жидкости

Из диаграммы могут быть получены следующие величины:

$\Delta h_{1-2}$  – работа, подводимая к жидкости насосом.

$\Delta h_{2-3}$  – количество теплоты переданное рабочему телу в испарителе.

$\Delta h_{5-6}$  – работа, получаемая на валу детандера.

$\Delta h_{6-1}$  – теплота, отводимая в конденсаторе.

#### Измерительные устройства:

- 1) Термометры сопротивления ДТС035 4 шт.
- 2) Манометры образцовые 2 шт.

- 3) Датчик оборотов 1 шт.
- 4) Расходомеры 3 шт.

### **Методика измерений**

Цель: оценить значение коэффициента преобразования энергии в установке при различных значениях температуры греющего источника и температуры конденсации рабочего тела (хладона R141b).

Варьируемые величины:

- 1) Температура конденсации - варьируется при помощи изменения расхода охлаждающей проточной воды вентилем.
- 2) Температура в испарителе - устанавливается термическим реле в нагревательном элементе котла.

Измеряемые величины:

- 1) Мощность вырабатываемая генератором – измеряется вручную путем варьирования нагрузки на генератор.
- 2) Температура теплоносителей на входе и выходе из теплообменных аппаратов.

Для построения цикла в  $lg p$  и  $h$  осях находим четыре точки однозначно характеризующие все параметры: для среды в однофазном состоянии необходимо знать два параметра) - давление и температуру рабочего тела в точках 1 2 5 6

- 3) Расход промежуточного теплоносителя.
- 4) Расход охлаждающей проточной воды.
- 5) Давление в контурах теплоносителей.

Вычисляемые величины:

- 1) Количество подводимой теплоты – рассчитывается по расходу теплоносителя и его температуре на входе и выходе из теплообменного аппарата.
- 2) Коэффициент преобразования тепловой энергии, потребляемой от греющего источника в электрическую энергию, снимаемую с обмоток генератора.

### **Список литературы**

- [1]. Воронов В.А., Леонов В.П., Розеноер Т.М. Испытания спирального детандера // Инженерный журнал: Наука и Инновации. Электрон. журн. 2013. Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/machin/criogen/594.html> (дата обращения 01.12.2015).
- [2]. Воронов В.А., Леонов В.П. Испытания спирального детандера на различных режимах // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 1. С. 23-25.

- [3]. Леонов В.П., Воронов В.А., Аpsит К.А., Ципун А.В. Цикл Ренкина с низкопотенциальным источником теплоты // Инженерный журнал: Наука и Инновации. Электрон. журн. 2015. № 2 (38). Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/pmce/mdpr/1368.html> (дата обращения 01.12.2015).