

Исследования показали, что термические сопротивления и средние температуры стенки отличаются между классическим и пародинамическим термосифонами. Для классического термосифона характерны более высокие значения термических сопротивлений и температур стенки. Это обусловлено тем, что коэффициенты теплоотдачи в кольцевом зазоре испарителя и конденсатора пародинамического термосифона выше, чем в свободном объеме испарителя и конденсатора классического термосифона.

Литература

1. Патент ВУ 11072, F 28 D 15/00. Термосифон : заявлено 20.11.2015 ; опубл. 01.03.2016 / Родин А. В., Шаповалов А. В.

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУРБОУСТАНОВОК НА ОРГАНИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА

Д. Г. Шутов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Овсянник

Рассмотрено применение органического цикла Ренкина в альтернативной энергетике, для утилизации низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов, а также при сжигании топлив с низкой теплотворной способностью.

Ключевые слова: органический цикл Ренкина, низкокипящее рабочее тело, эксергетический анализ, повышение эффективности, хладагент

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TURBO-INSTALLATIONS ON THE RENKIN ORGANIC CYCLE

D. G. Shutov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Scientific supervisor A. V. Ovsyannik

This article discusses the application of the organic Rankine cycle in alternative energy, for the utilization of low-potential secondary energy resources, as well as for the combustion of fuels with low calorific value.

Keywords: organic Rankine cycle, low-boiling working fluid, exergy analysis, efficiency improvement, refrigerant.

Органический цикл Ренкина (ОЦР) является альтернативой классическому паротурбинному циклу. Применение ОЦР предпочтительнее с техникоэкономической точки зрения при температурах рабочего тела перед турбиной 250 °С и ниже. Это обусловлено снижением эффективности паротурбинного цикла при столь низких значениях температуры рабочего тела, более высокой стоимостью установки в связи с сложностью конструкции. Поэтому ОЦР приобретает все более широкое распространение в альтернативной энергетике для утилизации низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов.

Для анализа метода повышения эффективности турбоустановок (ТУ) на органическом цикле Ренкина рассмотрим два характерных цикла ТУ на ОРЦ: на перегретом паре (рис. 1) и с промежуточным перегревом рабочего тела (рис. 2).

Принцип работы исследуемой схемы: из конденсатора жидкое низкокипящее рабочее тело насосом подается в теплообменный аппарат, где нагревается парами низкокипящих рабочих тел (НКРТ), поступающими из турбины. Затем рабочее тело направляется в котел-утилизатор, где нагревается, испаряется и перегревается. Далее поступает в турбину, где совершает механическую работу вращения вала, связанного муфтой с генератором электрического тока. В схеме с промежуточным перегревом НКРТ, пройдя часть высокого давления (ЧВД) турбины, снова попадает в котел-утилизатор, где повторно перегревается и поступает в часть низкого давления (ЧНД) турбины. После совершения работы в турбине НКРТ, будучи еще в перегретом состоянии, охлаждается до температуры, близкой к температуре насыщения при данном давлении в теплообменном аппарате, и направляется в конденсатор, где и конденсируется.

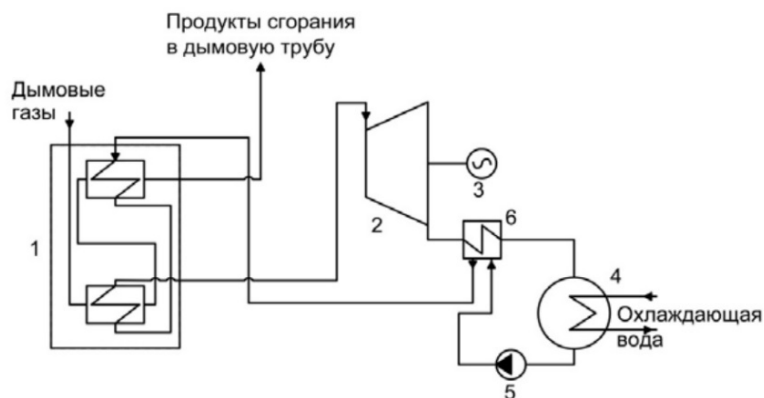


Рис. 1. Схема органического цикла Ренкина на перегретом паре:
1 – котел-утилизатор; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор;
5 – насос; 6 – теплообменный аппарат

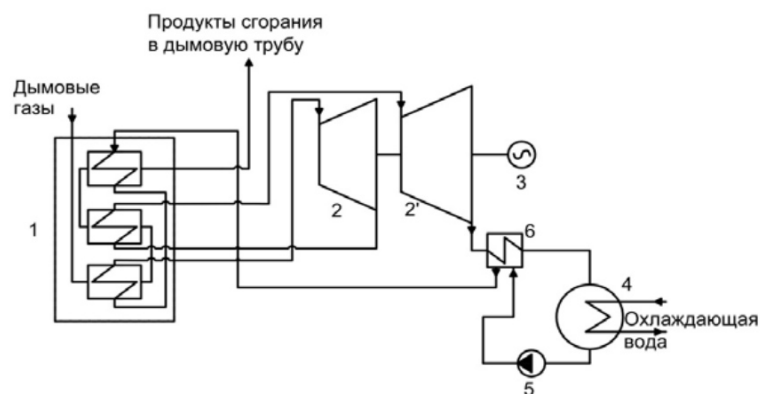


Рис. 2. Схема органического цикла Ренкина
с промежуточным перегревом рабочего тела:
1 – котел-утилизатор; 2 – часть высокого давления турбины;
2' – часть низкого давления турбины; 3 – генератор;
4 – конденсатор; 5 – насос; 6 – теплообменный аппарат

Наиболее подходящим методом термодинамического анализа ОЦР является эксергетический, позволяющий изучать качественную сторону преобразования энергии и степень термодинамического совершенства процессов.

Циклы исследуемых схем с оптимальными параметрами НКРТ представлены на рис. 3, 4. В качестве рабочего тела использован один из наиболее эффективных хладагентов – R245fa, обладающий нулевым потенциалом разрушения озонового слоя и низким потенциалом глобального потепления.

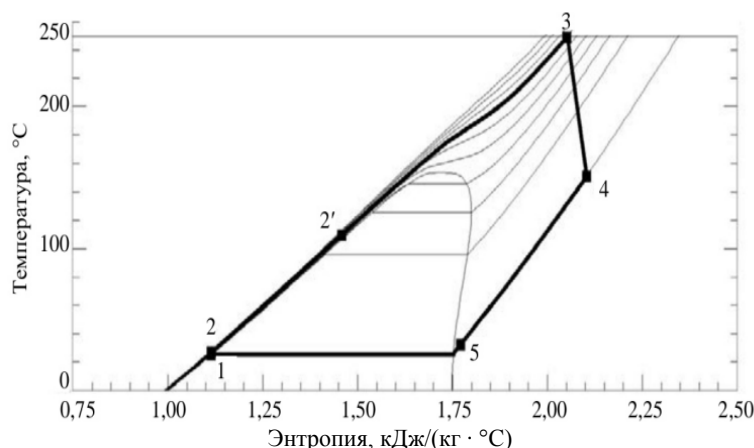


Рис. 3. Органический цикл Ренкина на перегретом паре в T - s -координатах

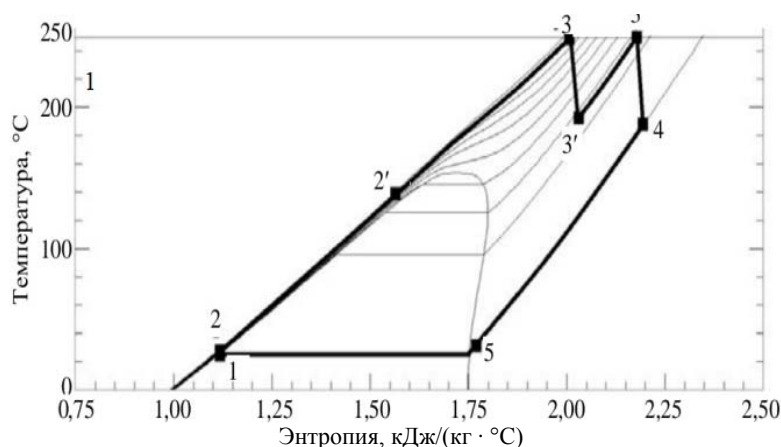


Рис. 4. Органический цикл Ренкина с промежуточным перегревом в T - s -координатах

Циклы состоят из следующих процессов: 1–2 – повышение давления НКРТ в насосе; 2–2' – нагрев НКРТ в теплообменном аппарате; 2'–3 – нагрев, парообразование и перегрев в котле-утилизаторе; 3–4 – расширение НКРТ в турбине; 3–3' – расширение в ЧВД турбины; 3'–3'' – перегрев НКРТ в промежуточном перегревателе котла-утилизатора; 3''–4 – расширение НКРТ в ЧНД турбины; 4–5 – охлаждение паров хладагента в теплообменнике; 5–1 – охлаждение и конденсация паров хладагента в конденсаторе.

Полученные результаты показали, что использование промежуточного перегрева в ОЦР приводит к повышению эксергетической эффективности цикла. В среднем прирост эксергетического КПД составляет 4,28 % на примере хладагента R245fa.

Промежуточный перегрев при термодинамически оптимальных параметрах рабочего тела перед ЧВД и ЧНД приводит к снижению потерь эксергии в котле-утилизаторе, значительному увеличению регенерации в теплообменном аппарате, росту потерь эксергии в насосе (по причине повышения давления рабочего тела перед турбиной), их перераспределению в турбоагрегате, теплообменном аппарате и конденсаторе (росту потерь эксергии в турбоагрегате и теплообменном аппарате в результате увеличения количества эксергии, поступающей и преобразовываемой в данных аппаратах, снижению потерь эксергии в конденсаторе из-за уменьшения количества рабочего тела, циркулирующего в цикле и, как следствие, поступающего в конденсатор).

Таким образом, применение органического цикла Ренкина актуально в альтернативной энергетике для утилизации низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов, а также при сжигании топлив с низкой теплотворной способностью. Для повышения термодинамической эффективности турбоустановок на органическом цикле Ренкина целесообразно применение промежуточного перегрева. Максимальная эффективность достигается при использовании оптимальных с термодинамической точки зрения параметров рабочего тела перед частями высокого и низкого давления турбины.

Л и т е р а т у р а

1. Овсянник, А. В. Тригенерационные турбоустановки на основе низкокипящих рабочих тел / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 3 (65). – С. 263–275.
2. Овсянник, А. В. Выбор, расчет и термодинамический анализ турбоустановок на органическом цикле Ренкина / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 1 (65). – С. 76–88.
3. Ключинский, В. П. Термодинамический и технико-экономический анализ тригенерационных установок на органическом цикле Ренкина / В. П. Ключинский, А. В. Овсянник // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 1 (88). – С. 80–89.