

Таким образом, расчеты позволяют делать предварительную оценку эффективности процесса совместной газификации угля и пластика, и могут быть использованы для выбора перспективных режимов при экспериментальных исследованиях.

Работа выполнена в ИТ СО РАН при поддержке Российского научного фонда (проект № 15-19-10025).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Arena U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review // *Waste Management*. - 2012. - V. 32. - No. 4. - P. 625-639.
2. Straka P., Bickova O. Hydrogen-rich gas as a product of two-stage co-gasification of lignite/waste plastics mixtures // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2014. - V. 39. - No. 21. - P. 10987-10995.
3. Mastellone M.L., Arena U. Bed defluidisation during the fluidised bed pyrolysis of plastic waste mixtures // *Polymer Degradation and Stability*. - 2004. - V. 85. - P. 1051-1058.
4. Calculation of the fixed bed coal gasification regimes by the use of thermodynamic model with macrokinetic constraints / I.G. Donskoi, A.V. Keiko, A.N. Kozlov, D.A. Svishchev, V.A. Shamanskii // *Thermal Engineering*. - 2013. - V. 60. - No. 12. - P. 904-909.
5. Donskoy I.G. Mathematical modelling of the fixed-bed biomass-coal co-gasification process // *MATEC Web of Conferences*. - 2016. - V. 72. - Paper No. 01026.
6. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. - Л.: Химия, 1979. - 176 с.
7. Thermal analysis in numerical thermodynamic modeling of solid fuel conversion / A. Kozlov, D. Svishchev, I. Donskoy, A.V. Keiko // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. - 2012. - V. 109. - No. 3. - P. 1311-1317.
8. Kinetic study on the thermal degradation of polypropylene and polyethylene / H. Bockhorn, A. Hornung, U. Hornung, D. Schawaller // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. - 1999. - V. 48. - No. 2. - P. 93-109.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ КАЛИНЫ

Л.А. Савина

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5БМ5А

С каждым годом потребление энергии в мире растёт, при этом её немалую часть составляет тепловая энергия. К сожалению, зачастую значительная

часть тепловой энергии просто рассеивается в окружающей среде, по причине её неэффективного использования. В последние десятилетия большие усилия прилагаются для того, чтобы каким-то образом увеличить технико-экономические показатели работы станции.

В связи с ростом цен на энергоресурсы и стремлением к повышению эффективности их использования чрезвычайно актуальными становятся вопросы выбора рабочего тела. Показатели экономичности и эффективность работы станции, а также экологическая безопасность напрямую зависят от качества термодинамических свойств рабочих тел.

В начале 80-х годов из Советского Союза в Соединенные Штаты эмигрировал выпускник Института холодильной промышленности в Одессе А.И. Калина, не имевший в СССР широкой известности, тем не менее – кандидат наук, член Ученого Совета министерства и советник Госплана СССР. Работая еще в Советском Союзе А.И. Калина обнаружил, что растворение аммиака в воде сопровождается уменьшением теплоемкости раствора вдвое. Он предложил и просчитал новый термодинамический цикл для паротурбинных установок, основанный на использовании нового рабочего тела (раствора аммиака), который он назвал "циклом Калины" [2].

Использование водоаммиачной смеси в энергоустановке как рабочего тела имеет ряд преимуществ. Главным преимуществом такой энергоустановки является возможность ее эффективного использования в большом интервале температур. Оба вещества недороги и экстенсивно используются в промышленности. У аммиака и воды приблизительно равные молекулярные массы; следовательно, паровая турбина может использоваться в цикле аммиачной воды с незначительными изменениями. Путем изменения концентрации компонентов смесового рабочего тела можно обеспечить хорошие показатели энергоустановки без изменения ее конструкции во всем интервале температур греющего источника. Основная особенность компонентов смеси - разные критические температуры, а именно - равновесное состояние между газообразной и жидкой фазами у каждого из них наступает при совокупности различных параметров.

В таблице 1 приведены некоторые сравнительные свойства воды и аммиака [1].

Табл. 1. Сравнение свойств воды и аммиака

Параметр	Аммиак (NH ₃)	Вода (H ₂ O)
Молекулярная масса (кг/кмоль)	17,0	18,0
Температура кипения в 1,013 бар (К)	239,8	373,2
Температура замерзания 1,013 бар (К)	195,4	273,2
Критическая температура (К)	405,5	647,3
Критическое давление (бар)	113,5	221,2

Сравним TS-диаграммы цикла Калины и цикла Ренкина (рисунок 1).

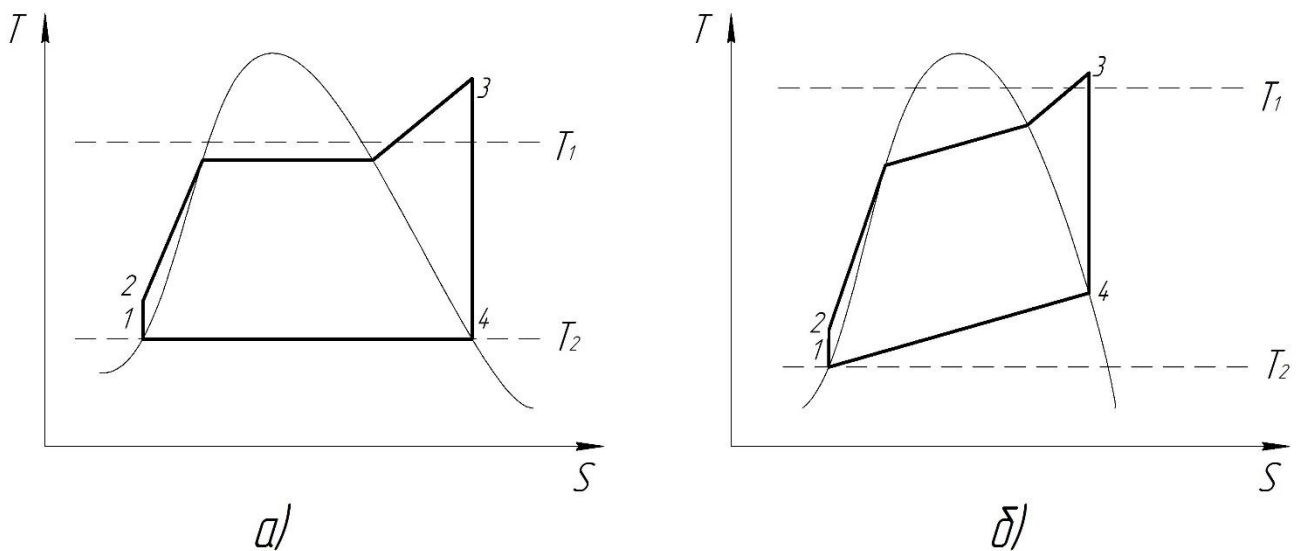


Рис. 1. а) TS-диаграмма цикла Ренкина; б) TS-диаграмма цикла Калины
КПД любого цикла зависит от разности температур между нагревателем и холодильником

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Таким образом, из диаграмм видно, что средняя температура подвода теплоты в цикле Калины получается выше, чем у цикла Ренкина, следовательно, КПД цикла Калины имеет более высокое значение в том же интервале температур.

В настоящее время цикл Калины широко известен среди специалистов. Новый процесс имеет на 10 процентов больший коэффициент полезного действия, а значит, экономит 20 процентов топлива, и сопровождается на 30 процентов меньшими количествами выбросов (а это тоже очень важно, ибо тепловые электростанции и энергетические установки служат основными источниками загрязнения окружающей среды). Таким образом «цикл Калины» значительно эффективнее других бинарных схем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Guideline on the IAPWS Formulation 2001 for the Thermodynamic Properties of Ammonia-Water Mixtures, The International Association for the Properties of Water and Steam Gaithersburg, Maryland, USA, September 2001.
2. Фазовые переходы, вода Краснова, цикл Калины. Общество и наука. Валерий Тырнова – блог физика и журналиста – 31 января 2011.
3. R. Tillner-Roth and D.G. Friend, A Helmholtz Free Energy Formulation of the Thermodynamic Properties of the Mixture {Water + Ammonia}, J. Phys. Chem. Ref. Data 27, 63 (1998).

Научный руководитель: А.С. Матвеев, к.т.н., зав. кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ.