

## ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМКНУТОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАБОТЫ В БЛОКЕ С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ

Целью работы стал анализ показателей замкнутой ГТУ для работы в блоке с газоохлаждаемым реактором. Проекты, реализующие данную концепцию, разрабатываются в России, США, Японии и других странах [1,2]. Рабочим телом такой установки может быть гелий или иной газ, удовлетворяющий требованиям к теплоносителю реактора.

В диапазоне параметров, характерном для замкнутой ГТУ (давление до 7 МПа, температура от 15-20°C до 1000°C) гелий можно рассматривать как идеальный газ с постоянной теплоемкостью  $C_p = 5,190 \pm 0,003$  кДж/(кг·К) [3].

Для достижения поставленных целей были составлены программы, реализующие термодинамическое моделирование показателей ГТУ различных схем. При этом основным параметром моделирования являлось изэнтропийное повышение температуры в цикле

$$\rho = \pi^m,$$

где  $\pi$  – степень повышения давления;  $m = R/C_p$  – параметр, определяемый физическими свойствами рабочего тела;  $R$  – газовая постоянная.

Показатели ГТУ были получены в виде характеристик, не зависящих от вида рабочего тела (гелий, углекислый газ и др.). Для ГТУ, выполненной по простой схеме (рис. 1), они показаны на рис. 2. Исходные данные соответствуют проектам [1,2]: начальная температура  $T_3 = 850^\circ\text{C}$ , КПД турбомашин не ниже 89 % - для компрессора и 93 % - для турбины.

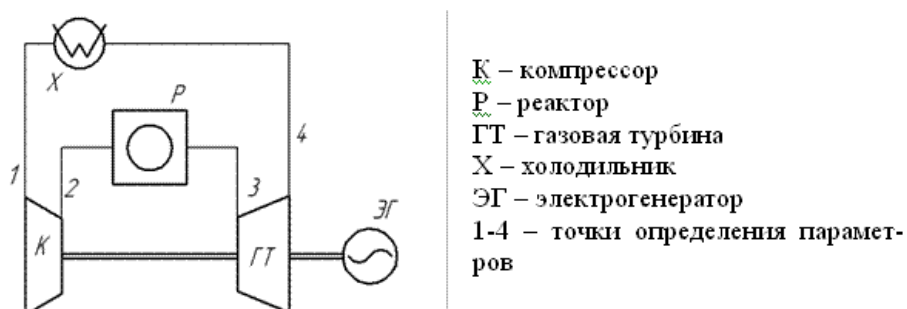


Рис. 1. Принципиальная схема простой ГТУ

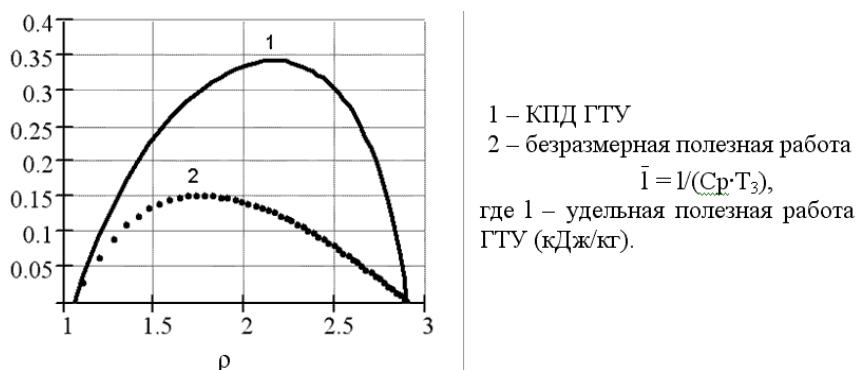


Рис. 2. Показатели простой ГТУ

Наибольший КПД достигается в одной области  $\rho = 2,1 \div 2,3$  для всех газов. Это означает степень повышения давления  $\pi = 6 \div 8$  для гелия,  $13 \div 16$  - для воздуха и  $30 \div 35$  - для  $\text{CO}_2$ . Максимальная работа также совершается в одной области значений  $\rho = 1,6 \div 1,8$ . Но при этом полезная работа 1 кг гелия в ГТУ более чем в 5 раз выше, чем воздуха или азота.

Для анализа возможности дальнейшего роста КПД были рассмотрены различные

способы усложнения схемы ГТУ: использование промежуточного охлаждения (П.О.) (рис. 3, а) или регенератора (рис. 3, б). Эти решения также могут быть применены совместно для увеличения эффективности установки.

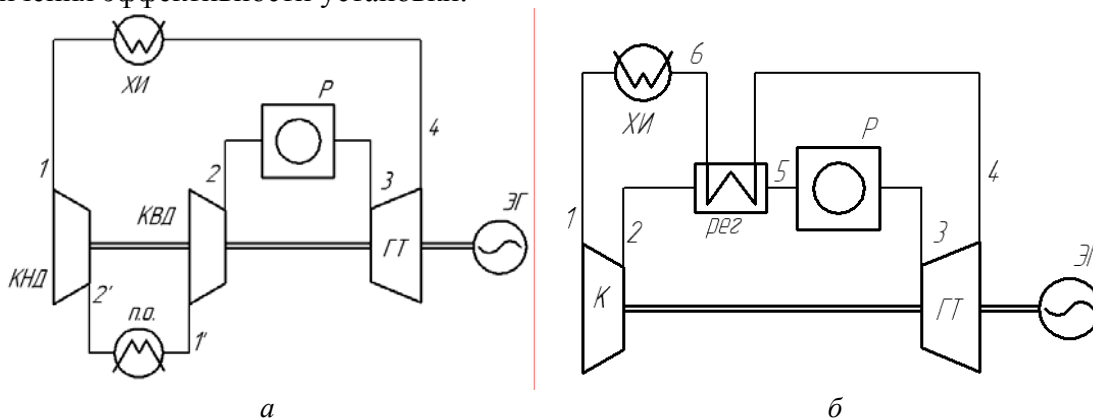
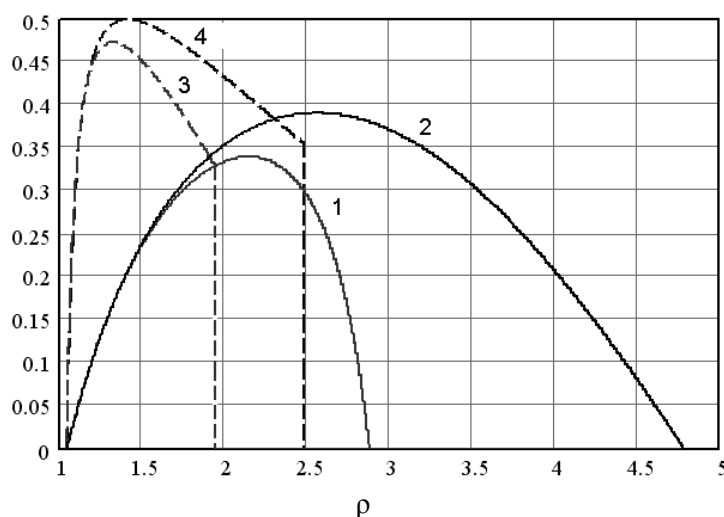


Рис. 3. Сложные схемы ГТУ: а – с регенератором; б – с промежуточным охлаждением

Характеристики ГТУ сложных схем, не зависящие от рабочего тела, показаны на рис.

4.



1 – простая ГТУ;  
 2 – с промежуточным охлаждением;  
 3 – с регенератором;  
 4 – с регенератором и промежуточным охлаждением

Рис. 4. КПД сложных схем ГТУ

Применение ПО обеспечивает прирост максимального КПД на 3-5 % по сравнению с простой схемой. Оптимальное значение параметра  $\rho$  сместится в область  $\rho = 2,5 \div 2,6$ . Использование регенератора со степенью регенерации  $r = 0,95$  увеличивает максимальный КПД ГТУ по сравнению с простой схемой на 12-13 %. Применение регенерации в схеме с ПО увеличивает КПД на 10-12 %. При этом оптимальное значение  $\rho$  смещается в область  $1,40 \div 1,42$ . Для гелия это соответствует степени повышения давления  $\pi = 2,3 \div 2,4$ .

Итак, даже при ограничениях, накладываемых реактором на начальную температуру газа, в ГТУ сложных схем можно получить КПД ГТУ порядка 45-50 %.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. V.I.Kostin, N.G.Kodochigov, et al. «Power conversion unit with direct gas-turbine cycle for electric power generation as a part of GT-MHR reactor plant». 2nd International Topical Meeting on high temperature reactor technology», Beijing, CHINA, 2004.
  2. К.Кunitomi, S.Katanishi, et al. JSME international journal, series B, vol. 47, № 2, 2004.
- Сычѳв В.В., Вассерман А.А. и др. – Термодинамические свойства гелия. – ГСССД – М.: Изд-во стандартов, 1984 г. – 320 с.