

Рис. 2. График скоростей образования отложений продуктов коррозии железа в испарительных элементах

Благодаря данным расчетам, предполагается прогнозировать время работы энергетического оборудования до образования критического количества отложений различных примесей. Результаты данного исследования позволят прогнозировать нештатные ситуации и аварийные риски, связанные именно с повреждением труб экранных поверхностей нагрева.

В результате проделанного анализа выяснилось, что коррозионная прослойка и отложения влияют на надежность, эффективность и функциональность теплообменных аппаратов и трубопроводов, увеличивая потребление горючего топлива и др.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галковский В.А., Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В.А. Галковский, М.В. Чупова // Интернет журнал «Науковедение» – 2017. – Том 8, № 2. – С 61.
2. Теребилов С.В., Образование отложений накипи на поверхностях нагрева в жаротрубных котлах / С.В. Теребилов, А.Г. Михайлов, Е.Н. Слободина, А.В. Васильев // Омский научный вестник – 2017. – № 3. – С 74.
3. Верховинский И.Л., Использование магнитного преобразователя накипи для повышения эффективности работы котлоагрегатов / И.Л. Верховинский, Н.Д. Накардзе, Е.А. Кривобок // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки – 2014. – № 5. – С 27.
4. Kakac S. Heat exchangers: selection, rating and thermal design. Taylor Francis Inc, United States. – 2012. – 491p.
5. Evaluation of scale formation in waterwall heated surfaces / T.S. Taylasheva [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 92: Thermophysical Basis of Energy Technologies (TBET-2016). – 4 p.

Научный руководитель: к.т.н. Т.С. Тайлашева, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И СХЕМЫ ОДНОКОНТУРНОГО ЭНЕРГЕБЛОКА С ГЕЛИЙОХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ

О.В. Кульбида

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5072

Создание нового направления в реакторостроении в крупнопромышленном масштабе требует, в первую очередь, анализа негативных сторон внедрения энергоустановок с газоохлаждаемыми реакторами в энергетику. К таким сторонам можно отнести: необходимость использования дорогостоящих жаростойких сталей и сплавов, создание и организация промышленного изготовления новых видов оборудования (гелиевой арматуры, турбомашин замкнутого цикла и т. д.) и применение в качестве теплоносителя дорогостоящего гелия.

Все существующие реакторные установки с ВТГР и БГР выполнены по двухконтурным (а также трехконтурным) тепловым схемам. Но больший интерес вызывает концепция одно-контурных энергоустановок. В таких установках в качестве привода генератора используется гелиевая турбина замкнутого цикла: это повышает КПД цикла и упрощает тепловую схему установки в целом.

Успешное решение проблемы промышленного внедрения энергетических установок с ВТГР на тепловых и быстрых нейтронах является качественно новым шагом в области реакторостроения, а также подарит новые возможности использования ядерного горючего, что может коренным образом изменить структуру топливопотребления в различных отраслях промышленности.

Постановка задачи. Рассмотрим одноконтурный энергоблок с быстрым газоохлаждаемым реактором с гелием в качестве теплоносителя и рабочего тела, тепловой мощностью 270 МВт.

Для реализации АЭС с таким типом реактора используем схемы с газотурбинной установкой (ГТУ).

Изменяя параметры гелия в заданных диапазонах, найдем значения термического КПД и расхода гелия и уточним оптимальные значения параметров.

Зададим в первом приближении:

- давление гелия в реакторе – 7 МПа;
- температура на выходе из реактора (T_3) – 850 °С;
- температура, до которой охлаждается теплоноситель в охладителе и поступает в компрессор (T_1) – 24 °С.

Показатель адиабаты для гелия: $k = 1,660$.

Значения относительного внутреннего КПД:

- компрессора – 0,85;
- турбины – 0,9.

Потери давления [1]:

- в тракте между компрессором и реактором (λ_1) – 0,97...0,98;
- в системах всасывания (перед компрессором) и выхода газов (за турбиной) (λ_2) – 0,96...0,98.

Расчет простой ГТУ замкнутого цикла. Теоретический цикл простейшей и идеализированной газотурбинной установки состоит из двух адиабат (сжатия в компрессоре и расширения в турбине) и двух изобар (передачи теплоты теплоносителю из реактора и отвод теплоты).

В результате расчетов [1, 2] получаем следующие зависимости (рисунок 1).

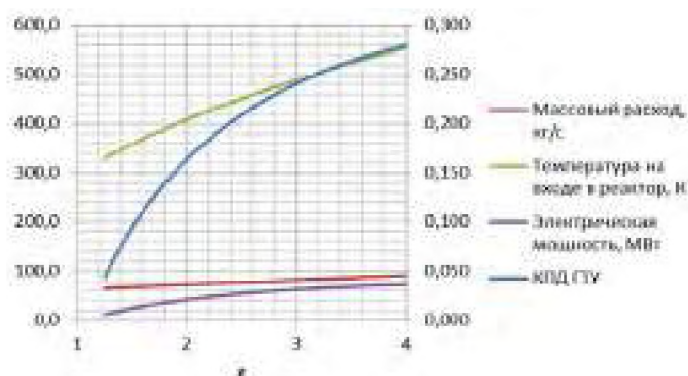


Рис. 1. Зависимости КПД, электрической мощности, температуры на входе в реактор и массового расхода от степени повышения давления в компрессоре (простейшая схема ГТУ)

На рисунке 1 видно, что температура на входе в реактор изменяется в диапазоне 56...281 °С. Расход гелия увеличивается при увеличении ϵ . КПД простейшей ГТУ в диапазоне

$\varepsilon = 3 \dots 4$ изменяется от 24 % до 28 %, что является низким показателем эффективности для энергоблоков с БГР.

Поэтому рассмотрим один из способов повышения эффективности работы ГТУ – регенерацию.

Расчет ГТУ замкнутого цикла с регенератором. Регенерация тепла – использование части отводимого к нижнему источнику тепла, внутри цикла в качестве части тепла, подводимого к рабочему телу.

Поставим перед собой задачу выявить связь между КПД и степенью регенерации, варьируя последнюю. Влияние регенерации на КПД ГТУ в диапазоне степени повышения давления, выбранного исходя из результатов прошлой главы показано на рисунке 2.

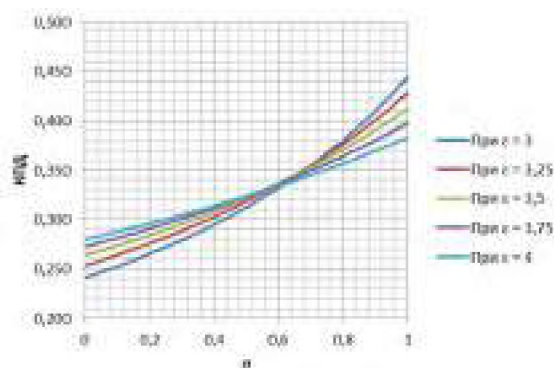


Рис. 2. Зависимость КПД ГТУ с регенерацией от степени регенерации при различных значениях степени повышения давления

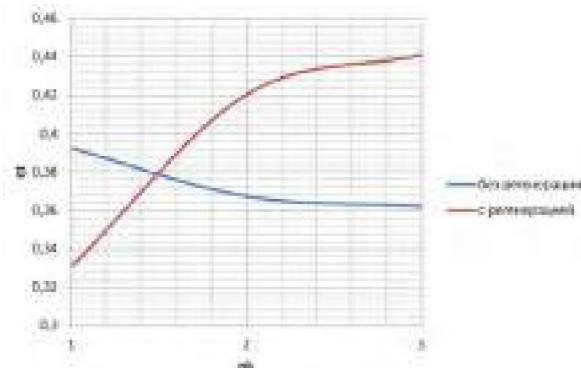


Рис. 3. Изменение КПД от числа ступеней сжатия в компрессоре и регенерации тепла при $\varepsilon = 3$ и $\sigma = 0,6$

КПД здесь увеличивается при увеличении степени регенерации.

При увеличении значения степени повышения давления, КПД ГТУ с регенератором сначала увеличивается при $\sigma = 0 \dots 0,5$, но при достижении $\sigma = 0,6$ мало изменяется, а при дальнейшем увеличении σ значение КПД падает.

При $\sigma = 0,6$ значение ε мало влияет на значение КПД, температуры T_a и T_b изменяются так, что значение разности уменьшающейся температуры T_a и постоянной T_1 уменьшается, как и значение разности постоянной температуры T_3 и увеличивающейся температуры T_b одинаково, что и приводит к практически не изменяющимся значениям КПД. При дальнейшем увеличении степени регенерации и степени повышения давления значения КПД падают, так как разность первых температур уменьшается слабее второй.

Расчет ГТУ замкнутого цикла с регенератором и ступенчатым сжатием с целью оптимизации параметров. Покажем, что организация многоступенчатых процессов сжатия в компрессоре приводит к уменьшению термического КПД цикла без регенерации и к увеличению – с введением регенерации тепла по сравнению с исходным простейшим циклом ГТУ с неизменным значением степени повышения давления ε (рисунок 3).

Из рисунка 3 видно, что при регенерации значение КПД увеличивается с увеличением числа ступеней сжатия в компрессоре. Но также следует учесть, что при увеличении числа ступеней сжатия увеличиваются капитальные затраты и материалоемкость всей установки. При этом прирост КПД с увеличением существенно падает. Отсюда делаем вывод, что оптимальное число ступеней сжатия 2.

Расчет ГТУ замкнутого цикла с учетом потерь давления. Более детальное исследование влияния степени регенерации на потери давления связано с конструктивным расчетом регенератора (или рекуператора).

Включение регенератора в схему ГТУ помимо использования теплоты уходящих газов для нагрева сжатого гелия понижает полное давление гелия перед реактором и создает гидравлическое сопротивление при выходе из турбины [3].

Учтем, что коэффициент сопротивления $\gamma = 0,02$ – достаточно высокое значение, то изменение относительного гидравлического сопротивления должно происходить от 0 до 1. На рисунке 4 показана зависимость КПД цикла от степени регенерации при увеличении ε при неизменном значении γ .

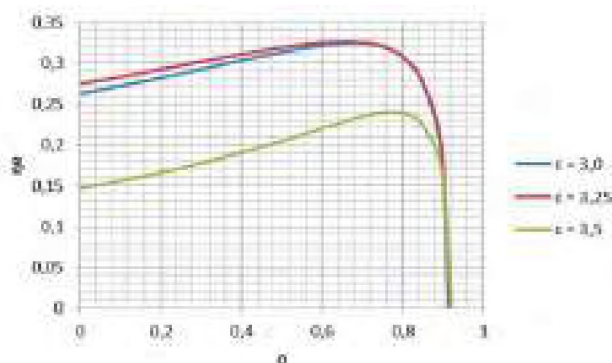


Рис. 4. Зависимость КПД цикла от степени регенерации при различных ε , при $\gamma = 0,02$

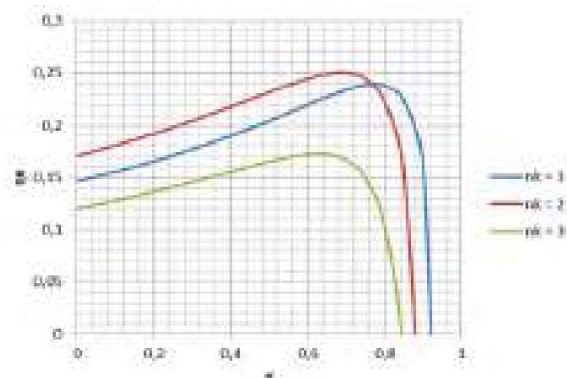


Рис. 5. Зависимость КПД цикла от степени регенерации при различных n_k , при $\gamma = 0,02$, при $\varepsilon = 3,5$

Исходя из рисунка 4 можно сказать, что зависимость КПД цикла от степени регенерации не линейна и имеет максимум при $\sigma = 0,68$ при $\varepsilon = 3,0$. Кроме того, чем выше значение степени повышения давления в компрессоре, тем дальше смещается максимум и при $\varepsilon = 3,5$ максимум находится в точке $\sigma = 0,78$, но при этом уменьшается само значение максимума: при $\varepsilon = 3,0$ КПД составляет 33 %, а при $\varepsilon = 3,5$ – 24 %.

Рассмотрим, изменятся ли данные зависимости от числа ступеней сжатия (рисунок 5).

Из рисунка 5 видно, что при числе ступеней сжатия 2 КПД при фиксированном значении степени регенерации возрастает, но при числе ступней сжатия 3 резко падает. Максимум с увеличением числа ступней сжатия смещается в сторону уменьшения степени регенерации. Так при $\sigma = 0,7$, при $\varepsilon = 3,5$ и $n_k = 2$ КПД составляет 25 %.

При этом, учтем, что при $\sigma = 0,68$, при $\varepsilon = 3,0$ и $n_k = 1$ КПД составляет 33 %. Из этого следует, что увеличение числа ступеней сжатия невыгодно для данного энергоблока.

Заключение. В данной исследовательской работе был проведен анализ возможных схем и параметров одноконтурного энергоблока с гелийохлаждаемым реактором.

Данный энергоблок имеет следующие параметры (таблица 1).

Таблица 1. Параметры проектируемого энергоблока

Параметр	Значение
Тепловая мощность, МВт	270
Давление гелия в реакторе, МПа	7
Температура на входе в реактор, °С	197
Температура на выходе из реактора, °С	850
Температура, до которой охлаждается теплоноситель в охладителе и поступает в компрессор, °С	24
Степень понижения давления в компрессоре	3
Число ступеней сжатия, шт.	1
Степень регенерации	0,68
Внутренний относительный КПД компрессора	0,85
Внутренний относительный КПД турбины	0,90
КПД ГТУ	0,324

ЛИТЕРАТУРА:

1. Паровые и газовые турбины для электростанций [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
2. Толмачев, Е.М. Техническая термодинамика. Термодинамический расчет и анализ циклов газовых двигателей и паросиловых установок. Часть 2 / Е.М. Толмачев. – Екатеринбург, 2007.
3. А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, В.Л. Иванов, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков, М.И. Осипов, И.Г. Суровцев, Н.И. Троицкий Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов/ [А. Н. Арбеков и др.]; под общ. ред. А. Ю. Вараксина. – 4-е изд., испр. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 678 с.: ил.
4. Проектирование энергоустановок с газоохлаждаемыми реакторами / Сметанников, И. Х. Ганев, В. Д. Колганов и др.; Под ред. чл.-кор. АН СССР И. Я. Емельянова. – М.: Энергоиздат, 1981, 232 с. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/proektirovanie-energoustanovok-s-gazoozhlazhdaemymi-reaktorami.html>

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.М. Антонова, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ ТПУ.

COMPARATIVE THE EFFICIENCY ANALYSIS OF DIFFERENT STEAM GENERATORS TYPES FOR A POWER UNIT WITH A VVER-700 REACTOR

K.S. Samy
Tomsk polytechnic university
ISHE, group 507I

A steam generator (SG) is a heat exchange device that generates non-radioactive steam in the second (third) circuit due to the heat of the coolant. The steam generator is a crucial component of a nuclear power plant because it creates the steam required to power the steam turbines, which in turn power the electric generators, which create the electricity required for different aspects of daily living. In pressurized water reactor (PWR or VVER) nuclear power facilities, there are two different types of SG: horizontal SGs with VVER are used in Russia, and vertical SGs with PWR are used in America.

The vertical SG has a vertical housing, two horizontal tube sheets, and a vertical U-shaped tube. Two-step separation facilities are located on the housing's top. The tube bank's whole height is covered by a shell that organizes the circulation loop (figure 1).

The horizontal SG has a horizontal cylindrical housing and horizontal U-shaped tubes of the heat exchange surface which are installed in two vertical collectors. Gravitational separation is used to dry the steam at the top of the housing (figure 2) [4].

This article briefly discusses the various types of steam generators. The calculated parameters, thermal and hydraulic characteristics are compared and analyzed at different coolant velocities. The calculations were done in the traditional method [1–3].

The main differences between the methods for calculating these steam generators:

- the need to take into account the economizer section in the vertical steam generator;
- various formulas for calculating the heat transfer coefficient when the working fluid boils in a large volume.

Table 1 provides the basic data that was used in the calculations.