

среды, содержит необходимые балансовые уравнения и уравнения теплопередачи с возможностью выбора различных методик расчета. Решения систем уравнений сводятся различными численными методами, обеспечивающими приемлемую точность результата.

Программный продукт, реализующий математическую модель, позволяет проектировать установки на различную производительность, проводить поверочные расчеты и подбирать оптимальную конструкцию. Приложение будет полезно проектным организациям энергетической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.: ил.
2. Кузма-Кичта Ю.А., Бухонов Д.Ю., Борисов Ю.В. Интенсификация теплообмена при конденсации водяных паров из уходящих дымовых газов // Теплоэнергетика. – 2007. – №3. – С. 39–42.
3. А.В. Ефимов, А.Л. Гончаренко, Л.В. Гончаренко. Разработка пластинчатого воздухоподогревателя конденсационного типа для теплоутилизационной системы // ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія. – 2012. – №2(31). – С. 83–90.
4. В.В. Беспалов. Технологии глубокой утилизации тепла дымовых газов // Энергетика Татарстана. – 2015. – №2(38). – С.32–36.
5. Bespalov V.V., Beljaev L.A., Melnikov D.V. Using Air for Increasing the Depth of the Flue Gas Heat Recovery // МАТЕС Web of Conferences. – 2015. – №37. – 01009.
6. Bespalov V.V., Bepalov V.I., Melnikov D.V. Evaluation of Heat Transfer Coefficients During the Water Vapor Condensation Contained in the Flue Gas // EPJ Web of Conferences. – 2016. – №110. – 01007.
7. В.В. Беспалов. Технологии глубокой утилизации тепла дымовых газов // Энергетика Татарстана. – 2016. – №2(42). – С.39–44.

Научный руководитель: Л.А. Беляев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ГРАФИТОВОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ РЕАКТОРА РБМК

В.О. Дмитриев, И.Г. Ткаченко
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5012

Одним из факторов, определяющих надежность и безопасность работы АЭС с водографитовыми реакторами, является надежность графитового замедлителя (кладки), рассчитанного на весь срок эксплуатации реактора.

Графитовая кладка реактора РБМК-1000 имеет форму цилиндра диаметром 11,8 м и высотой 7 м, составленного из 2488 колонн. В отверстиях колонн установлены трубы технологических каналов (ТК) и каналов СУЗ. Тепловыделяющие сборки, расположенные внутри каналов, охлаждаются водой с температурой 250...280 °С.

При работе реактора часть (5...6%) полной тепловой мощности реактора выделяется в графите кладки. Это тепло также отводится к трубам ТК. Для обеспечения теплового контакта с блоками на трубы каналов надеты разрезные графитовые кольца (рис. 1), а в зазоры между трубами и блоками подается продувочный газ (штатный состав 10% азота и 90% гелия, по объёму).

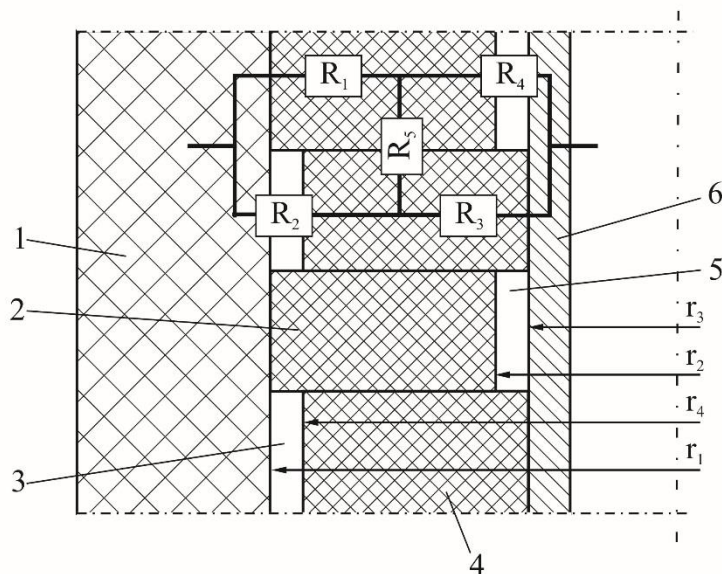


Рис. 1. Схема установки трубы ТК в графитовой кладке: 1 – графитовый блок; 2 – наружное графитовое кольцо (втулка); 3, 5 – газовые зазоры; 4 - внутреннее графитовое кольцо (втулка); R_i - термическое сопротивление; r_i - радиус

Конструктивные и схемные решения реакторных установок РБМК позволяют осуществлять изменение состава продувочного газа [1].

Температурное поле в графитовой кладке определяется в первую очередь мощностью реактора. Влияет на температуру графита и содержания азота X_N в азотно-гелиевой смеси (далее состав продувочного газа).

Температура графита кладки является одним из основных параметров, лимитирующих работу реактора РБМК. В практике принято, что на всех режимах работы реактора максимальная температура графита не должна превышать значения пороговой температуры 750...800 °С [1, 2]. Кроме того, колебания средней температуры графита кладки (замедлителя) ведут к соответствующим изменениям реактивности реактора, так как аппараты типа РБМК обладают существенным по величине положительным эффектом реактивности по температуре замедлителя [1].

Следовательно, определение температурного состояния графитовой кладки реактора РБМК является актуальной задачей.

Поле температур кладки водографитового реактора является трехмерным. Программы численных расчетов двухмерных и трехмерных температурных по-

лей очень сложны. Поэтому для оценочных расчетов максимальной температуры графита приходится прибегать к различным упрощениям и допущениям.

В известной методике расчета максимальной температуры замедлителя реактора РБМК [3] термические сопротивления втулок и газовых зазоров уподобляются электрическим сопротивлениям. Составив и упростив цепь этих сопротивлений, можно определить значение эквивалентного электрического, а значит, и термического сопротивления зазора графитовый блок – труба технологического канала (рис. 1).

Результаты вариантных расчетов температуры отдельного графитового блока по рассмотренной методике приведены на рис. 2.

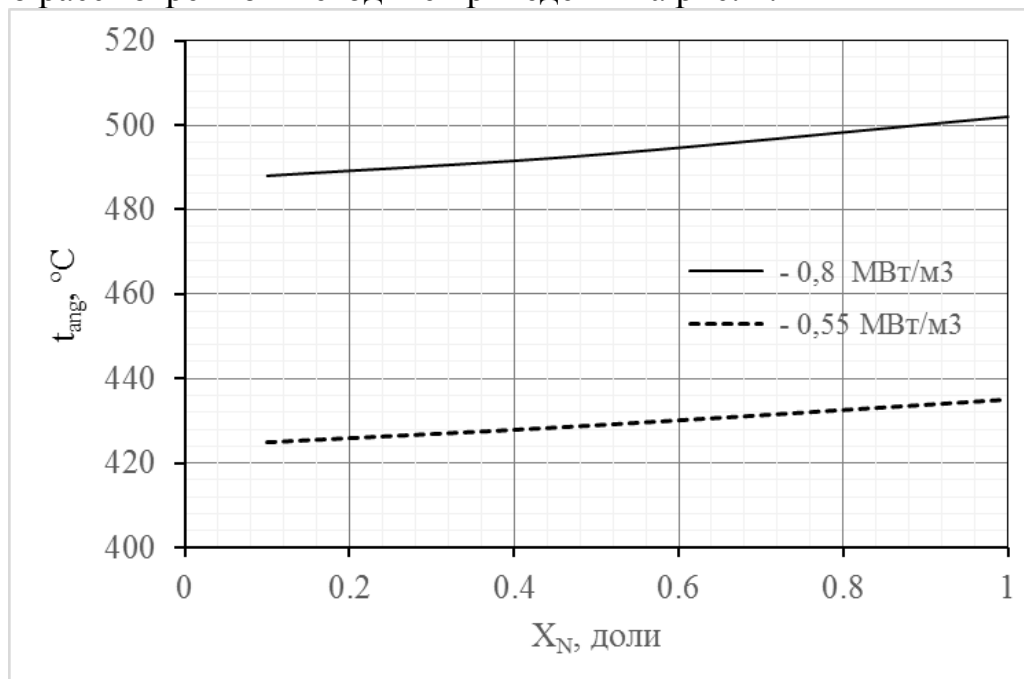


Рис. 2. Зависимость максимальной температуры графитового блока (в углу графитового блока) от состава продувочной смеси без учета контактных термических сопротивлений

Анализ содержимого рис. 2 показывает, что максимальная (угловая) температура графитового блока t_{ang} при увеличении содержания азота в продувочной смеси от 10 до 100 % возрастает на 10...15 °C. Эти цифры существенно отличаются от экспериментальных данных, приведенных в [2], где среднее значение коэффициента влияния состава смеси на температуру графита оценивается в диапазоне 0,9...1,2 °C/%.

Причинами такого расхождения могут являться неучтенные термические сопротивления в местах контакта графитовый блок – наружное кольцо, наружное кольцо-внутреннее кольцо, внутреннее кольцо – труба ТК (рис. 1).

С целью выяснения источника расхождения расчетных и экспериментальных данных по температуре графита описанная выше методика была уточнена посредством включения дополнительных контактных термических сопротивлений. Для расчета последних использовалось критериальное уравнение из работы [4]

$$\alpha_k = \frac{\lambda_{см} \cdot Y}{h_0} + 8 \cdot 10^3 \cdot \lambda_{м} \cdot \left(\frac{P_k}{3 \cdot \sigma_B} \cdot K \right)^{0,86}, \quad (2)$$

где $\lambda_{см}$ - теплопроводность газовой смеси; $Y = 3,33$ - относительная величины зазора; h_0 - суммарная шероховатость контактирующих поверхностей; K - коэффициент, зависящий от величины h_0 ; P_k - контактное давление; σ - предел прочности более пластичного из контактирующих материалов.

По уточненной методике были проведены расчеты температуры отдельного графитового блока при варьировании состава продувочной смеси и величины контактного давления. Результаты расчета представлены на рис. 3.

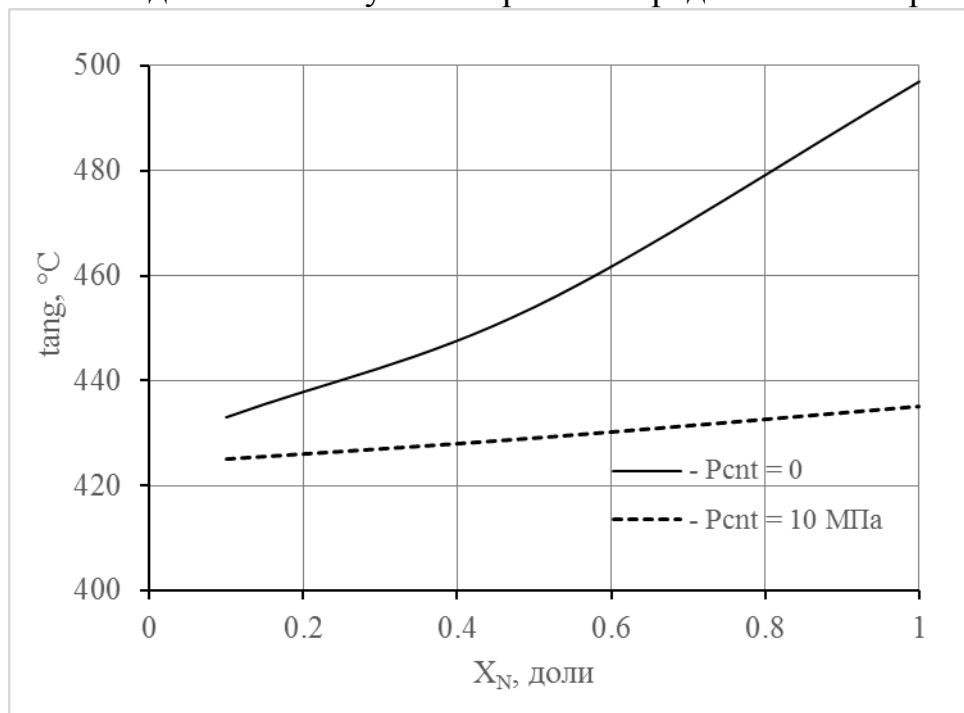


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры графитового блока (в угду графитового блока) от состава продувочной смеси при разных значениях контактного давления

Анализ графиков на рис. 3 показывает, что контактные термические сопротивления существенно (в 1,05...1,2 раза) увеличивают температуру графитового замедлителя. При этом также существенно возрастает степень влияния содержания азота в смеси на уровень температур блока.

Заключение

Был разработан уточненный алгоритм и составлена программа расчета температурного состояния графитового замедлителя реактора РБМК, учитывающая термические сопротивления в местах контакта элементов графитовой кладки и ТК.

Использование данной программы позволяет существенно повысить точность инженерной методики расчета температуры графитового замедлителя реактора РБМК.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Доллежалъ Н. А. Канальный ядерный энергетический реактор.-М: Атомиздат, 1980.-208 с.
2. Воробьев А.В., Антонова А.М. Повышение эффективности установки с водографитовым реактором при частичных нагрузках// Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 2. – С. 182–186.
3. Скачек М.А. Теплогидравлический расчет реактора РБМК-1000: Учебное пособие.- М. : Изд. МЭИ, 1982. - 68 с.
4. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. - М.: Энергия, 1977. - 328 с.

Научный руководитель: А.В. Воробьев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

SUPERCRITICAL WATER COOLED REACTORS

Sameh Helmy

Scientific supervisor: Prof. Alexander Korotkikh

Tomsk Polytechnic University

1. Introduction:

As the demand for electric power is increasing as well as the issues related to climate change, there's a need to develop new sustainable environmentally friendly energy systems. Research activities are currently underway worldwide to develop Generation IV nuclear reactor concepts with the objective of improving thermal efficiency and increasing economic competitiveness of (NPPs) compared to modern thermal power plants. There is a great interest in many countries in the research and development (R&D) and conceptual design of SCWRs (one of the six reactor technologies selected for research and development under the Generation IV program). The supercritical water cooled reactor (SCWR) uses supercritical water as the working fluid. SCWRs resemble light water reactors (LWRs) but operate above the thermodynamic critical point of water (374C, 22.1MPa), with a direct once-through cycle like a supercritical boiler. This helps improve the thermal efficiencies (i.e., about 45% vs. about 33% efficiency for current LWRs) and a simplified reactor system (i.e., the need for a pressurizer, steam generators, steam separators, and dryers is eliminated), and is hence expected to help improve its economic competitiveness as the main mission of the SCWR is generation of low-cost electricity. [1][2]

2.Supercritical operation and general considerations:

The feedwater is pressurized to a pressure beyond its critical pressure. The change in the thermo-physical properties of water at critical and supercritical pressures is dramatic, but continuous (As shown in Fig-2). [3] . Such heating can be made to be closer to the heat source temperature than a subcritical cycle with the same steam temperature that shows an abrupt change in temperature within the two phase