

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛОГОС

Волков Р.А.¹, Семенов А.О.²

¹ ТПУ, ИЯТШ, ОАМ41, e-mail: rav9@tpu.ru

² ТПУ, ОЯТЦ/ИЯТШ, Доцент, e-mail: semenov ao@tpu.ru

Введение

В разрабатываемых проектах АЭС с реакторами ВВЭР, в соответствии с современными требованиями принимаются новые технические решения, направленные на повышение безопасности реакторных установок. Причем тенденция заключается в уменьшении доли энергозависимых систем безопасности в пользу пассивных.

Так, одной из перспективных систем безопасности может являться система пассивного отвода тепла, задачей которой является обеспечение надежного охлаждения активной зоны реактора во время возникновения внештатных ситуаций.

Анализ эффективности теплоотвода такой системы, с использованием отечественного пакета программ ЛОГОС, взамен аналогов ушедших с российского рынка, позволит прогнозировать ее поведение в целом.

Таким образом целью работы являлось моделирование системы пассивного отвода тепла в программном комплексе ЛОГОС.

Для достижения поставленной цели, требовалось решение ряда задач:

1. Разработка модели системы пассивного отвода тепла АЭС в программном комплексе ЛОГОС.
2. Определение температурных режимов СПОТ.
3. Исследование влияния погодных условий на температурные режимы системы СПОТ.

Основная часть

В данной работе рассматривался естественный теплообмен между баком аварийного отвода тепла системы СПОТ (далее по тексту – БАОТ) и окружающей средой. Естественный теплообмен подразумевает, что скоростью движения воздуха в условиях задачи можно пренебречь. На рис. 1 показан пример такого теплообмена.

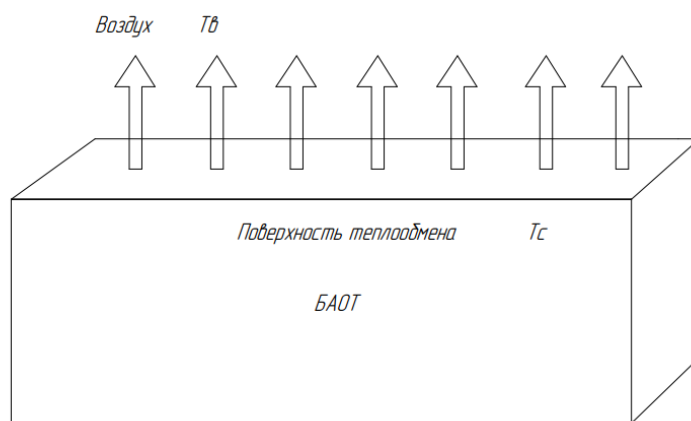


Рис. 1. Естественный теплообмен между БАОТ и воздухом

Уравнение теплообмена между системой СПОТ и окружающей средой в общем случае выглядит следующим образом:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (T_c - T_0), \quad (1)$$

где $\frac{dQ}{dt}$ – скорость изменения количества теплоты, передаваемое от системы СПОТ к воздуху в единицу времени;

α – коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между системой СПОТ и воздухом;

S – площадь поверхности, через которую происходит теплообмен;

T_c – температура системы СПОТ;

T_B – температура окружающей среды.

Аналитическое решение данного уравнения:

$$Q(t) = Q_0 + \alpha \cdot S \cdot (T_c - T_B) \cdot t, \quad (2)$$

где Q – количество теплоты, передаваемое от системы СПОТ в окружающую среду;

Q_0 – количество теплоты, передаваемое от системы СПОТ в нулевой момент времени.

Для решения уравнения (2) возникает необходимость в определении:

– коэффициента теплоотдачи, используя гидродинамические законы;

– температурных режимов СПОТ с использованием ПК ЛОГОС.

Площадь поверхности теплообмена напрямую зависит от размеров БАОТ, которые подбирались исходя из анализа источников литературы. Поскольку запас воды в БАОТ около 600 м³, приняты следующие размеры для бака: длина – 21 м, ширина – 4 м, высота – 7 м. В нашей модели теплообмен с воздухом осуществляется всеми гранями БАОТ. В связи с чем, значение для площади поверхности теплообмена составило:

$$S = 21 \cdot 4 \cdot 2 + 21 \cdot 7 \cdot 2 + 4 \cdot 7 \cdot 2 = 518 \text{ м}^2 \quad (3)$$

Моделирование в программном комплексе ЛОГОС проводилось в соответствии со стандартным для данного пакета алгоритмом. На первоначальном этапе задавалась геометрическая модель системы СПОТ, состоящая из бака аварийного отвода тепла и теплообменника СПОТ (далее по тексту – ТО СПОТ). На следующем этапе строилась расчетная сетка, на основании полученной ранее геометрической модели. Далее задавались подобласти, которым присваивался материальный состав. Итоговый вид разработанной модели системы СПОТ представлен на рис. 2.

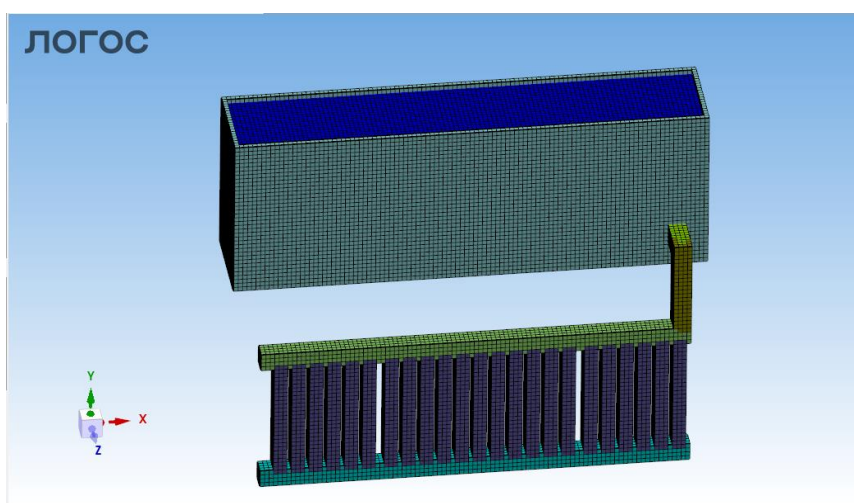


Рис. 2. Итоговая модель системы СПОТ

Подобласти в рамках модели включают в себя: стенки БАОТ и стенки ТО СПОТ, выполненные из нержавеющей стали 12х18н10т, теплоноситель БАОТ в виде воды, а также пар, находящийся внутри теплообменных труб.

Для имитации теплоты, подводящей к системе СПОТ, в условиях физической модели был добавлен источник энерговыделения. Источник при этом задавался в нижней части самого теплообменника. В данном случае предполагается, что пар после парогенератора попал в теплообменник СПОТ со значением температуры 285 °С (теоретическое значение пара на входе в теплообменник), поэтому начальная температура на нижней грани теплообменника устанавливается аналогичной.

Начальная температура в баке СПОТ принимается 60 °С или 333 К. Согласно источникам литературы, такое значение теплоносителя необходимо для обеспечения мгновенной готовности системы.

Это позволяет сократить время нагрева воды по сравнению с более низкими температурами. За счет этого система начинает отдавать тепло раньше, находясь таким образом в режиме ожидания.

На следующих рисунках показано распределение температуры по системе на различных шагах по времени (шаг 11, 20) при температуре окружающей среды равной 20 °С.

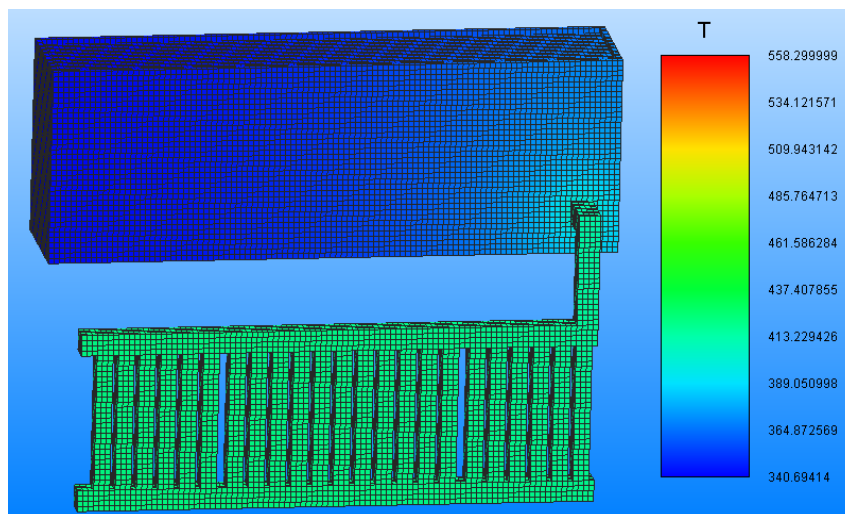


Рис. 3. Распределение температуры шаг 11

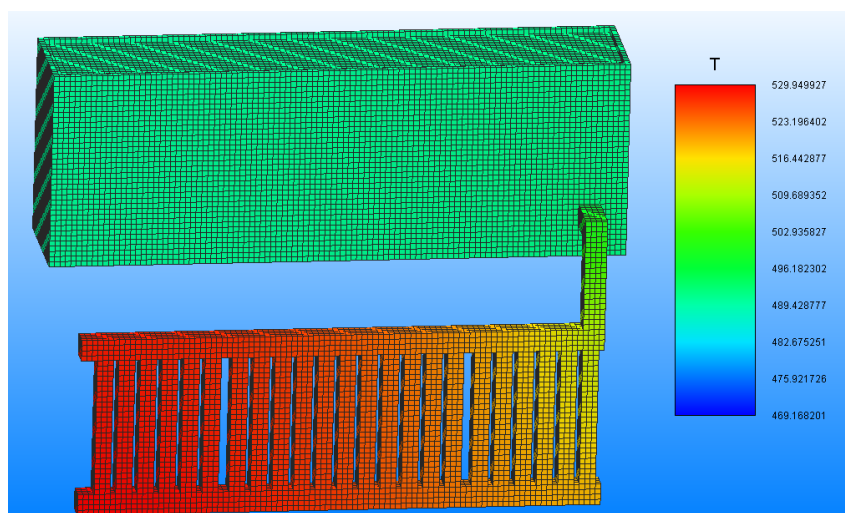


Рис. 4. Распределение температуры на последнем шаге

Из полученных температурных распределений видно, что тепло по стенкам бака аварийного отвода тепла распространяется более интенсивно чем, по теплоносителю БАОТ. Связано это с тем, что у стали более высокое значение коэффициента теплопроводности чем у воды.

В конечном счете, температура в системе переходит в установившийся режим, что видно по рисунку 4, при этом максимальная температура в баке СПОТ составила 502 К при $T_{окр} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аналогичные температурные распределения, были получены при диапазоне температур окружающей среды от -40 до +40, после чего был построен график зависимости максимальной температуры в БАКЕ СПОТ от температуры окружающей среды.

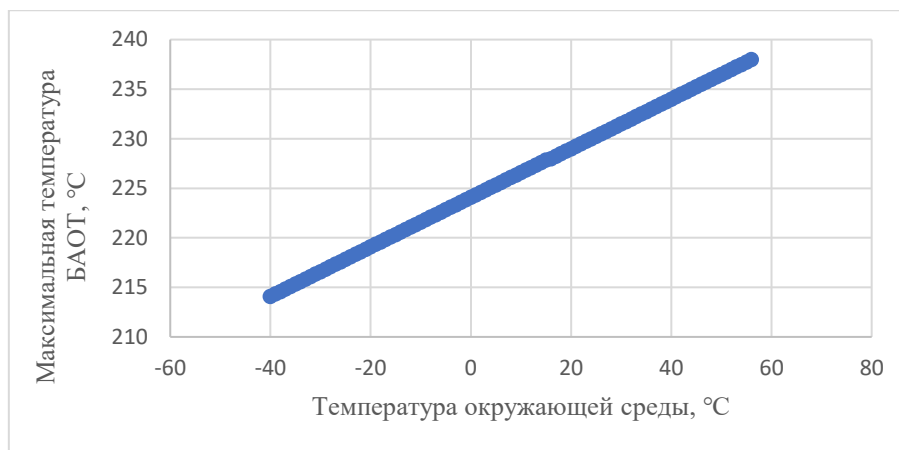


Рис. 5. Зависимость максимальной температуры в БАОТ от температуры окружающей среды

Снижение температуры окружающей среды на 20 °C, снижает температуру в баке СПОТ на 5 °C. Связано это с тем, что у воды большее значение теплоемкости чем у воздуха примерно в 4 раза, проще говоря вода более инерционная среда, поэтому она дольше нагревается/остывает.

После определения температурных режимов был проведен расчет мощности отвода тепла при различных температурах окружающей среды и построена зависимость мощности отвода тепла от температуры окружающей среды.

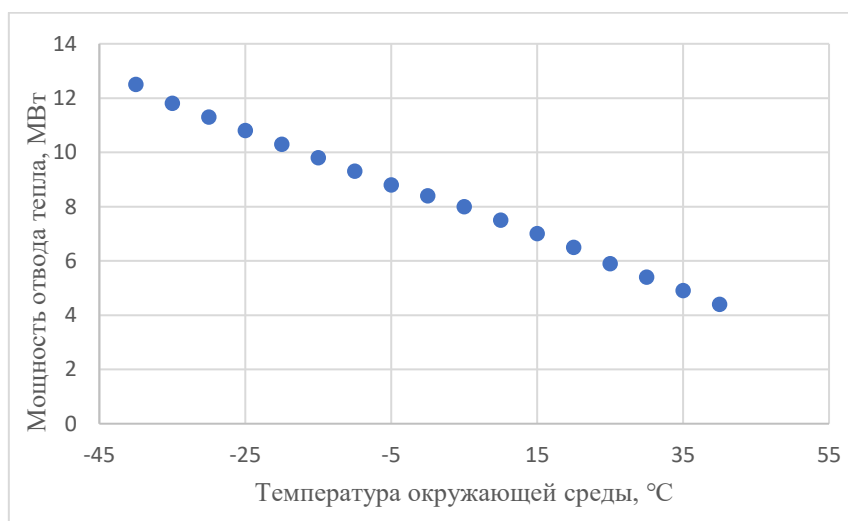


Рис. 6. Зависимость мощности отвода тепла от температуры окружающей среды

Из полученной зависимости можно сделать вывод, что чем ниже температура окружающей среды тем эффективней теплоотвод системой СПОТ. При этом с увеличением температуры воздуха мощность теплоотвода снижается до 65 %.

Заключение

В ходе выполнения работы была разработана модель системы СПОТ АЭС в программном комплексе ЛОГОС. При помощи модели определены, максимальные температуры теплоносителя в БАОТ, в зависимости от температуры окружающей среды. Снижение температуры окружающей среды на 1 °C, снижает температуру в баке СПОТ на 0,25 °C. Связано это главным образом с различием в значениях теплоемкостей. Вода более инерционная среда т.е. требует больше времени на разогрев/охлаждение.

Также были определены основные показатели мощности отвода тепла с использованием, полученной в ПК ЛОГОС модели. Средняя мощность отвода тепла составила 8,13 МВт, при этом установлено, что сама мощность с ростом температуры окружающей среды снижается на 65 %.

Список использованных источников

1. АО «Концерн Росэнергоатом»: сайт. – URL: <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalistam/news/24418/>.
2. Как устроены СПОТ ПГ и СПОТ ЗО проекта ЛАЭС-2: reaktorbmk — ЖЖ: сайт. – URL: <https://reaktorbmk.livejournal.com/1271.html>.
3. Морозов А.В. Схемные решения и принципы работы пассивных систем аварийного охлаждения различных типов ЯЭУ - Стр 8: сайт. – URL: <https://studfile.net/preview/16502387/page:8/>.
4. Теплообменник системы пассивного отвода тепла СПОТ - НПП «БАСЭТ» : сайт. – URL: http://baset.ru/oborudovanie/dlya_atomnyih_stantsiy/teploobmennik_sistemyi_passivnogo_otvoda_teplo_spot.
5. Аль-Джанаби А.Х. Интенсификация теплообмена энергетического оборудования АЭС с использованием водовоздушного аэрозоля: специальность 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аль-Джанаби Акрам Хамзах Абед. – Екатеринбург, 2020. – 188 с.
6. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Теплопередача: Учебное пособие. – Томск : Изд. ТПУ, 2001. – 118 с.