

УДК 621.039.586

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РАЗБАВЛЕНИЯ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1200**

Буров А. Л. – старший преподаватель кафедры ТЭС,
Герасимова А. Г. – заместитель декана ЭФ,
Евсеев И. А. – преподаватель-стажер,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время атомная энергетика после долгого перерыва переживает свое возрождение. Связано это с тем, что в борьбе с изменением климата основное внимание уделяется безуглеродной энергетике, т. е. такой, которая не связана со сжиганием ископаемых видов топлива. Помимо этого, в последнее время стал рассматриваться еще и такой аспект, как углеродный след, который оставляют практически все как возобновляемые, так и невозобновляемые источники энергии. Необходимо отметить, что при тщательном анализе углеродный след возобновляемых источников энергии, которые ранее представлялись экологически безвредными, является значительным.

В связи с этим атомная энергетика, чей углеродный след является минимальным по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии, в последнее время становится все более популярной и рассматривается в качестве источника «зеленой» экологически чистой энергии.

В связи с этим, а также бурным развитием в последнее время аккумуляторных технологий (электротранспорт и др.) мировой тенденцией является увеличение единичной мощности энергоблоков АЭС.

Как указывалось выше, атомная энергетика в настоящее время переживает ренессанс после долгой стагнации. Это связано с тем, что в раннем периоде ее становления и развития произошли крупные аварии на таких атомных электростанциях, как Три-Майл-Айленд (США), Чернобыль (СССР) и Фукусима (Япония). Таким образом, вторым мейнстримом в современном развитии атомной энергетики является использование принципа разумного консерватизма наряду с повышением безопасности АЭС.

Также необходимо отметить, что проведение натуральных испытаний, направленных на повышение безопасности АЭС, на энергоблоках атомных электростанций невозможно в связи с требованиями как ядерной безопасности, так и ядерной физической безопасности.

В связи с этим на первое место в проведении исследований безопасности АЭС выходят методы математического моделирования с помощью CFD (Computational Fluid Dynamics), или ВГАД (вычислительная гидроаэродинамика). Такие коды позволяют проводить численные эксперимен-

ты, учитывающие как критичность ядерного реактора, так и аварии с плавлением активной зоны.

К таким событиям относится и математическое моделирование аварии, проведенное в настоящем исследовании. И так, целью исследования является расчетное моделирование неравномерного разбавления теплоносителя I контура в АЗ ядерного реактора. Концентрация борной кислоты в теплоносителе составляет 18 г/л, что соответствует стояночной концентрации. Исследование выполняется в целях подготовки исходных данных для обоснования безопасности Белорусской АЭС.

Исходным событием аварии является появление течи между I и II контурами атомной электростанции с реакторами типа ВВЭР-1200, которые установлены на Белорусской АЭС.

В анализе безопасности Белорусской АЭС рассматриваются три типа таких течей: малая, средняя и большая. При средней и большой течах давление в I контуре быстро падает, и давление в I и II контурах выравнивается, что является предпосылкой для перетока деборированной воды II контура в I контур.

Все указанные выше исходные события аварии могут привести к забросу деборированной воды II контура в главный циркуляционный трубопровод и впоследствии к поступлению ее в активную зону реакторной установки.

В целях выяснения обзор исследований разбавления борной кислоты, проведенных другими специалистами. Таковыми были расчетное моделирование эксперимента по перемешиванию теплоносителя на АЭС «Бушер» [1], исследование перемешивания теплоносителя в опускной камере реактора [2], влияние пузыря «чистого» конденсата на динамику реактора [3], исследование влияния разности теплоносителя первого контура и раствора бора в емкости системы быстрого ввода бора на процесс вытеснения раствора [4].

В качестве инструмента исследования были выбраны программные средства, которые способны описывать процессы смешения неизотермических потоков.

Исходными данными при исследовании аварийной ситуации «Течь из первого контура во второй» являются такие параметры теплоносителя: первый контур – борированная вода с концентрацией борной кислоты 18 г/л, давление 8 МПа, температура 240 °С; второй контур – давление 8,2 МПа, температура 161 °С. Условием перетока теплоносителя из II контура в I является несинхронизированное снижение давления в первом и втором контурах.

Для решения данной задачи была разработана модель геометрии реактора ВВЭР-1200, приведенная на рисунке 1. Также были определены граничные условия для расчета. Общее количество элементов расчетной сетки составило около 13 миллионов.

Графически распределение скорости потока теплоносителя во входном участке и активной зоне ядерного реактора приведено на рисунке 2, а на рисунке 3 – распределение температурных полей по высоте и диаметру активной зоны ядерного реактора.

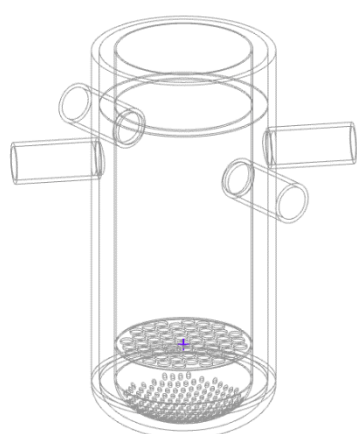


Рисунок 1 – Расчетная геометрия реактора ВВЭР-1200

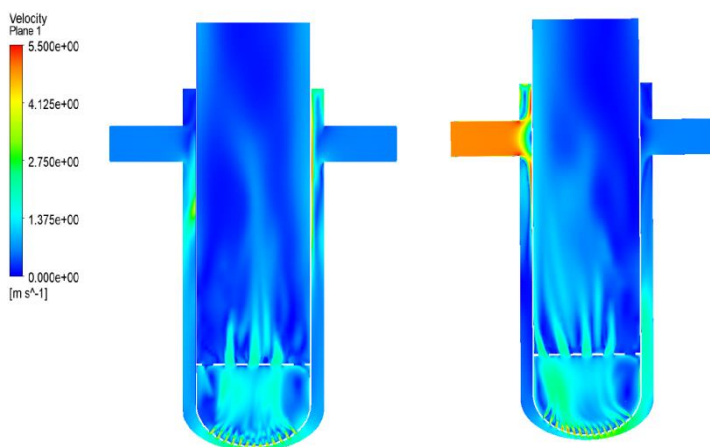


Рисунок 2 – Распределение скорости потока теплоносителя во входном участке и активной зоне ядерного реактора

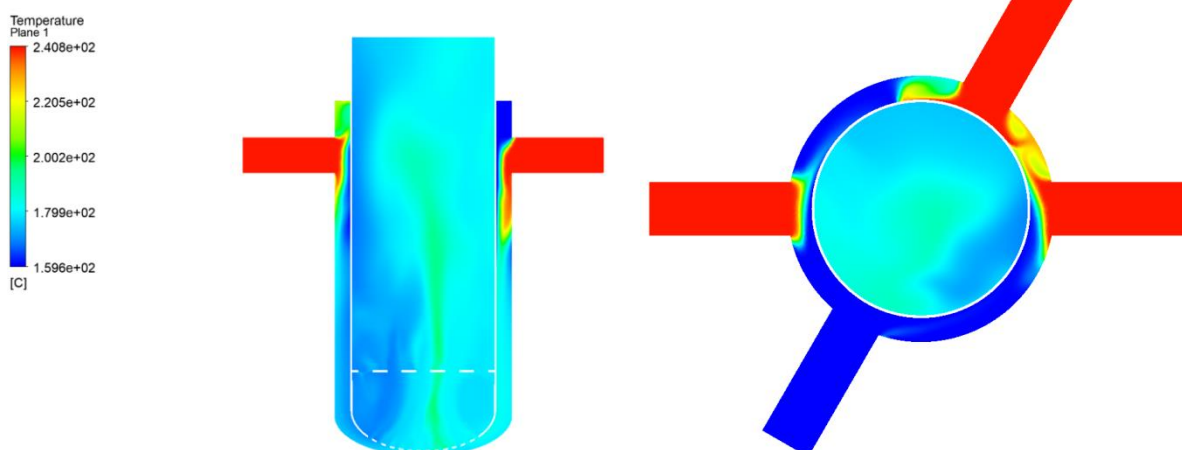


Рисунок 3 – Распределение температурных полей по высоте и диаметру активной зоны ядерного реактора

Список литературы

1. Демехин, А. П. Расчетное моделирование эксперимента по перемешиванию теплоносителя на АЭС «Бушер» / А. П. Демехин, Г. Л. Пономаренко. – Подольск: ОКБ «Гидропресс», 2013.
2. Лисенков, Е. А. Исследование перемешивания теплоносителя в опускной камере реактора / Е. А. Лисенков [и др.]. – Подольск: ОКБ «Гидропресс», 2019.
3. Ботенов, И. И. Влияние пузыря «чистого» конденсата на динамику реактора / И. И. Ботенов, В. К. Семенов. – Екатеринбург : УрФУ, 2019. – С. 718–721.
4. Байков, А. В. Процесс асимметричного борного разбавления в реакторе ВВЭР-1000 в ходе испытания системы быстрого ввода бора на АЭС Куданкулам. Результаты моделирования процесса / А. В. Байков, А. В. Коцарев, С. В. Цыганов. — Подольск: ОКБ «Гидропресс», 2017.