



## Моделирование экспериментов по перемешиванию теплоносителя на стенде СОУ с помощью кода OpenFOAM

Джафари Урегани Н., Абди Х., Мелихов В.И., Мелихов О.И.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

### Введение

Одной из важных систем безопасности АЭС с ВВЭР является система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), которая вступает в работу в случае возникновения аварии с потерей теплоносителя из первого контура реакторной установки. После снижения давления в первом контуре начинается подача относительно холодной (30 – 50 С) воды САОЗ, которая смешивается с горячим теплоносителем (290 С), при этом возникает опасность попадания холодной воды на корпус реактора, так называемый, тепловой удар. Таким образом, требуется определение локальных температурных характеристик на поверхностях, подвергающихся воздействию воды САОЗ. Для этого необходимо исследовать закономерности перемешивания двух жидкостей с разными температурами в условиях, моделирующих геометрию корпуса реактора. С этой целью на кафедре АЭС НИУ «МЭИ» была сооружена экспериментальная установка СОУ (Смешение

Опускной Участок), представляющая собой модель корпуса реактора ВВЭР, соединенного с гидроемкостью, из которой подается холодная вода САОЗ, Рис. 1. Изучалось перемешивание холодной и горячей воды в опускном участке реактора, в котором были установлены три сетки термодатчиков, позволяющие фиксировать изменения температуры вблизи места подачи воды САОЗ. Всего на установке СОУ было выполнено 25 экспериментов, в которых варьировались различные параметры: температура воды САОЗ, температура воды в контуре, расход воды из гидроемкости, расход воды в циркуляционном трубопроводе.

В данной работе выполнен анализ одного эксперимента с помощью CFD кода OpenFOAM [1].

### Результаты моделирования кодом OpenFOAM

Была построена расчетная сетка с помощью программного обеспечения Salome [?], состоящая из 1 924 396 ячеек (Рис. 2), при этом минимальный размер ячейки составляет 5 мм, а максимальный размер ячейки — 5 см. Для описания турбулентности использовалась  $k-\epsilon$  модель, значение параметра  $y^+$ , характеризующего разбиение сетки вблизи твердой поверхности не превышало 10.

© Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН  
© Институт проблем механики им А.Ю. Ишлинского РАН  
© Абди Хоссейн, [Hoseinabdi1990@gmail.com](mailto:Hoseinabdi1990@gmail.com)  
© Джафари Урегани Наджмех, [Najmehjafari.m.sc@gmail.com](mailto:Najmehjafari.m.sc@gmail.com)  
© Мелихов Владимир Игоревич, [volodymyr.mel@yandex.ru](mailto:volodymyr.mel@yandex.ru)  
© Мелихов Олег Игоревич, [oleg.melikhov311@yandex.ru](mailto:oleg.melikhov311@yandex.ru)

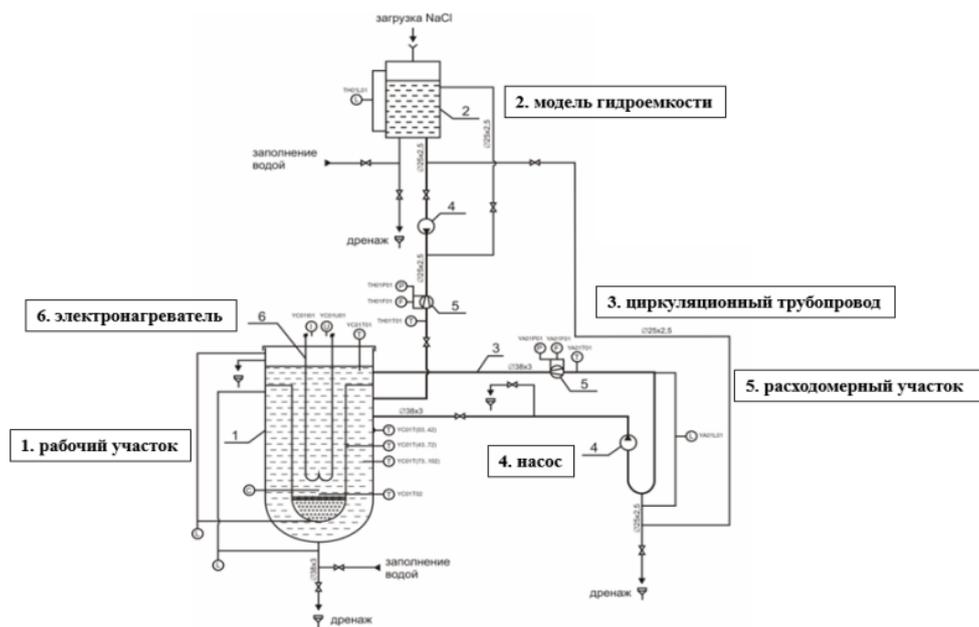
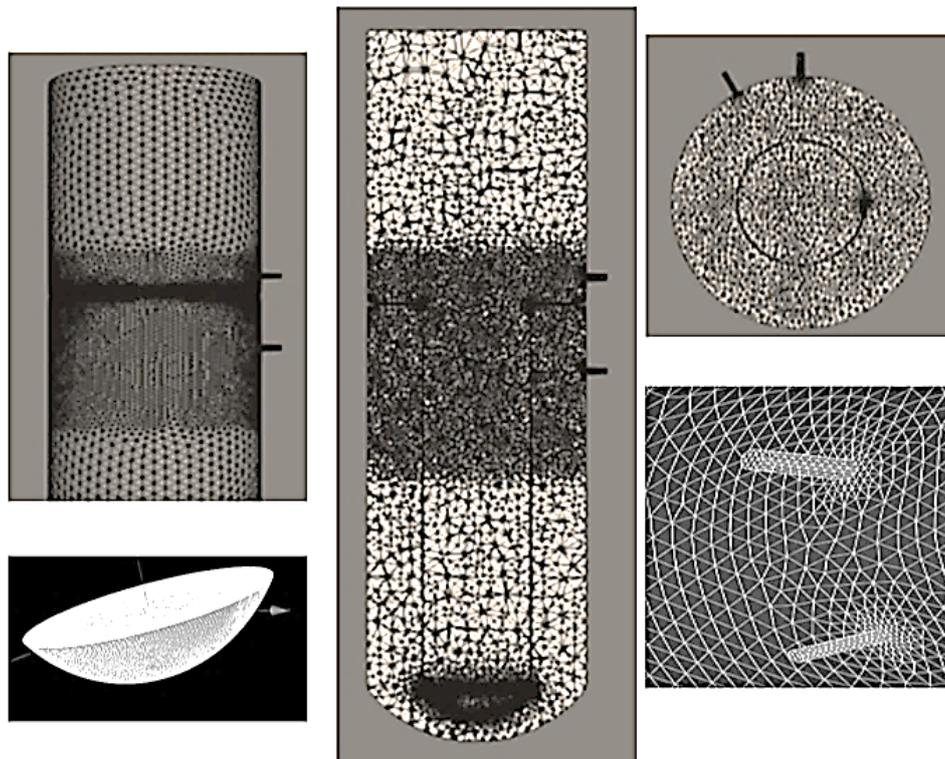
Рис. 1. Основные компоненты установки CO<sub>2</sub>

Рис. 2. Сетка, созданная в программе Salome-meca

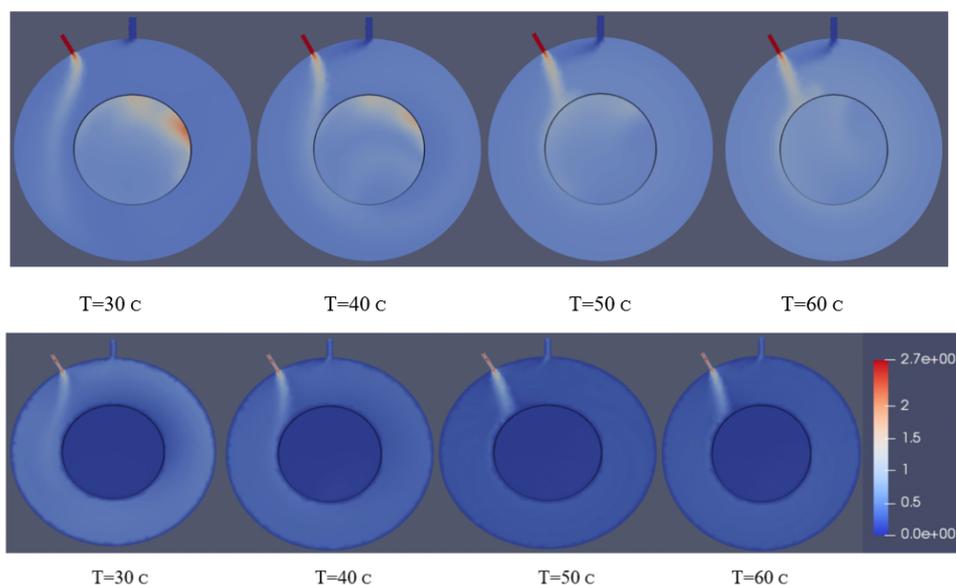


Рис. 3. Распределения температуры (сверху) и скорости (снизу) в горизонтальной плоскости на уровне входного патрубка

Для анализа был выбран эксперимент с подачей горячей воды из гидроемкости (76 C) в опускной участок модели реактора, заполненный холодной водой (13 C). Скорость воды, поступающей из отверстия диаметром 20 мм, составляла 2,45 м/с. Длительность эксперимента равнялась 60 с. Теплоотдача в окружающую среду (воздух) от внешних поверхностей модели реактора и гидроемкости в экспериментах не определялась, поэтому были выполнены два расчета с коэффициентами теплоотдачи 5 и 10 Вт/(м<sup>2</sup>К), чтобы определить степень влияния этого параметра на термогидродинамические процессы, протекающие внутри модели реактора.

На Рис. 3 показаны распределения температуры и скорости в последовательные моменты времени, характеризующие проникновение струи горячей воды в опускной участок. Видно, что к 50-й секунде струя достигает поверхности внутренней

выгородки, расположенной непосредственно перед входным патрубком и растекается по ней.

Изменение температуры во времени для одной из термопар, расположенной на поверхности выгородки, показано на Рис. 4 Среднеквадратичное отклонение расчетных значений температуры от экспериментальных данных для всех 100 термопар, расположенных в зоне перемешивания, составило 1,32 К для коэффициента теплоотдачи  $\alpha = 5$  Вт/(м<sup>2</sup>К) и 1,49 К для  $\alpha = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Учитывая, что погрешность измерений составляет  $\pm 2$  К, можно констатировать хорошее совпадение расчетов и эксперимента.

### Список литературы

- [1] <https://www.openfoam.com>
- [2] <https://www.salome-platform.org>



Рис. 4. Изменение температуры для термопары Т44 в расчетах и эксперименте