

УДК 621.5:519.6

А.А. Андрижиевский, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А.Г. Трифонов, проф., д-р техн. наук; Л.С. Кулик, асп.
(ОИЭЯИ - Сосны НАН Беларуси, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПАРОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В СИСТЕМЕ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА АЭС

В рамках формализованных шаблонов программного пакета COMSOL Multiphysics выполнена адаптация разработанного ранее модельного аналога системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки АЭС [1], применительно к описанию структуры парожидкостного потока при конденсации в системе пассивного отвода тепла через парогенераторы СПОТ ПГ АЭС. В качестве базовой модели в данном исследовании использовалась система уравнений сохранения, включая уравнения сохранения количества движения и массы для парокапельной смеси в допущениях модели гомогенного двухфазного потока (модель смешения). При проведении тестовых вычислительных экспериментов решалась нестационарная задача на установление. Объектом имитационного моделирования являлся трубный пучок теплообменника в контуре СПОТ ПГ. С целью сокращения числа расчетных ячеек, секции теплообменника представлялись в виде плоских поверхностей. При проведении вычислительных экспериментов получены характеристики структуры парокапельных потоков в каналах теплообменника СПОТ ПГ и, в частности, динамики образования пленки конденсата.

В рамках принятой модели смешения толщина приповерхностной пленки конденсата определяется величиной объемного содержания дисперсной фазы (конденсата). Соответственно, это позволяет определить значения локального коэффициента теплоотдачи по высоте трубного пучка. При пленочной конденсации насыщенного пара и ламинарном течении пленки местный коэффициент теплоотдачи может быть приближенно определен по формуле Нуссельта, т.е. считать, что при данных ограничениях пленка конденсата и пограничный слой совпадают. Вместе с тем, принятая формализация трубного пучка секции теплообменника СПОТ ПГ, позволяет использовать предложенную В.Г. Левичем [2] формулу для расчета локальной толщины ламинарного пограничного слоя при обтекании полубесконечной тонкой пластины при относительно малых числах Рейнольдса. Результаты расчета локальных значений приповерхностного слоя конденсата δ_x , толщины пограничного слоя δ_x^* и местного коэффициента теплоотда-

чи α_x приведены в таблице 1. Дополнительно в таблице 1 представлены значения толщины пограничного слоя $(\delta_{cm})^*_x$, рассчитанные по формуле В.Г. Левича при локальных параметрах смеси.

Таблица 1

x , м	0,1	0,2	0,5	1	1,5	1,95
δ_x , мм	0,04	0,08	0,16	0,30	0,38	0,40
δ^*_x , мм	0,08	0,12	0,18	0,26	0,32	0,36
$(\delta_{cm})^*_x$, мм	0,14	0,20	0,32	0,47	0,60	0,68
α_x , кВт/(м ² ·°С)	13,9	6,9	3,5	1,8	1,4	1,38

Как видно из таблицы, имеется достаточно хорошее совпадение, как характера поведения, так и значений δ_x , δ^*_x и α_x вдоль оси теплообменника СПОТ ПГ. Имеющиеся разногласия в значениях δ_x и δ^*_x связаны с использованием в данной серии тестовых вычислительных экспериментов осредненной по длине теплообменного канала, скорости конденсации, что приводит к ее занижению и завышению, соответственно, на начальных и конечных участках теплообменника. При значительном превышении δ^*_x над δ_x использование формулы В.Г. Левича для определения пограничного слоя в рамках «двухслойной» модели двухфазного потока считаем неправомерным. Это ограничение не относится к гомогенной модели смешения. Вместе с тем, авторы считают, что для рассматриваемого случая поверхностного отвода тепловой энергии с образованием пленки конденсата, более оправданно использование формулы В.Г. Левича при параметрах дисперсной фазы и скорости набегающего потока на входе в каналы.

В заключение следует отметить, что разрабатываемый пространственный модельный аналог процессов теплопереноса в системах пассивного отвода тепла СПОТ ПГ и результаты данного исследования могут быть использованы для проведения анализа безопасности работы белорусской АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрижиевский А.А., Трифонов А.Г., Кулик Л.С. Моделирование структуры термоконвективных потоков в системе пассивного отвода тепла АЭС // Труды БГТУ. Химия и технология неорганич. в-в. 2016. № 3(185). С. 142-146.
2. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959. 700 с.