

УДК 621.039.001.5

А. А. Андрижиевский, д-р техн. наук (БГТУ, Минск);
А. Г. Трифонов, д-р техн. наук, М. Л. Михайлюк
(ОИЭЯИ – «Сосны», г. Минск)

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ ИЗ ГРАДИРНИ АЭС С УЧЕТОМ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Основной системой охлаждения турбинного оборудования энергоблоков Белорусской АЭС являются башенные испарительные градирни. Башенная градирня представляет собой железобетонную или металлическую трубу конической формы, внутри которой находится система подачи воды, ороситель и резервуар. Работающая градирня АЭС выбрасывает в атмосферу нагретый от 31 до 45°C насыщенный водяными парами воздух, содержащий капли воды размером 100-500 мкм в количестве 0,5-1 г на 1 м³ воздуха. С парами в атмосферу поступает примерно 95% тепла, отводимого от охлаждаемого оборудования, а оставшаяся часть тепла отводится в водные источники с продувочной водой. Интенсивность теплового потока на выходе из градирни в зависимости от тепловой нагрузки может достигать 250-300 кВт/м². Он создает паровой факел, поднимающийся на высоту до 150-300 м и распространяющийся в направлении ветра на 2-10 км. Наличие парового факела является неотъемлемым признаком мокрых градирен, работающих по принципу испарительного охлаждения воды.

При определенном сочетании погодных условий вследствие испарений из градирни, в инфраструктуре АЭС может формироваться местный микроклимат. Так, при перемешивании выходящего из градирен теплого воздуха с наружным более холодным воздухом, происходит конденсация выносимого пара и образуется паровоздушный факел. Капли воды диаметром от 1 до 60 мкм, выброшенные через выходное сечение башни градирни или образовавшиеся в атмосфере в результате конденсации пара, выпадают в атмосфере в виде мороси или тумана.

Одним из существенных факторов воздействия градирни на окружающую среду является влияние ее капельных выбросов на динамику распространения аэрозольных технологических выбросов из вентиляционных труб. Важно отметить, что при определенных по-

годных условиях капли, которые концентрируются на препятствиях, могут приводить к образованию гололеда или измороси. Гололед диаметром 20 мм и более является стихийным явлением и приводит к чрезвычайным ситуациям в секторе связи, энергетическом секторе и может стать причиной нарушения производственной деятельности АЭС.

В данной работе приведены некоторые результаты тестовых вычислительных экспериментов по моделированию влагопереноса из градирен белорусской АЭС.

В основу вычислительного алгоритма положены базовые сопряженные системы пространственных нестационарных уравнений сохранения массы, тепловой энергии и импульсов для транспортного воздушного потока, капельной влаги и аэрозольных частиц. Данный вычислительный алгоритм позволяет провести моделирование процессов переноса в многокомпонентной среде с учетом условий окружающей среды.

В качестве граничных условий на поверхности градирни задается скорость потока Стефана, температура поверхности воды и концентрация насыщенных паров воды при данной температуре. На внешней границе – влажность воздуха, толщина пограничного слоя.

Для реализации математической модели разработаны специализированные формализованные расчетные шаблоны с использованием математических конструкций COMSOL Multiphysic. Расчетная сетка формировалась на основе метода конечных элементов в интерпретации данного программного пакета.

При проведении тестовых вычислительных экспериментов принимались следующие метеорологические данные: температура наружного воздуха равная 0°C , скорость ветра – до 10 м/с. Концентрация капельной влаги определялась заданными метеорологическими условиями и режимом работы градирни. При этом учитывалось, что при средних скоростях воздуха в оросителе градирни $\sim 1,2-1,6$ м/с через верх башни (капельный унос) выносятся преимущественно капли диаметром 50-500 мкм (скорость воздуха на выходе – из башни градирни $\sim 5-7$ м/с). Температура на выходе из градирни принималась равной 30°C .

На рис.1, в качестве иллюстрации применения вычислительного алгоритма, приведены линии тока и поля концентраций капельной влаги на выходе из градирни, в приземной области и на элементах

инфраструктуры АЭС.

В результате проведения вычислительных экспериментов получены поля концентраций компонентов парогазовой смеси в пределах площадки АЭС без учета и с учетом эффекта туманообразования. Из полученных результатов следует, что при отсутствии эффекта туманообразования происходит смешение концентрации капель с набегающим потоком воздуха и рассеивание в атмосфере.

Серия тестовых вычислительных экспериментов для модели капельного переноса с учетом фазовых превращений показала, что при учете фазового перехода наблюдается следующий эффект: часть капель в транспортном воздушном потоке испаряется, переходит в пар и рассеивается. Однако при этом концентрация капель на препятствиях (элементах инфраструктуры АЭС) хотя и уменьшается, но менее значительно, чем в воздухе. Наличие подобных эффектов подтверждает необходимость учета фазового перехода в системе «воздух – пар – капельная влага» для достоверности оценки влияния градирни на микроклимат площадки АЭС.

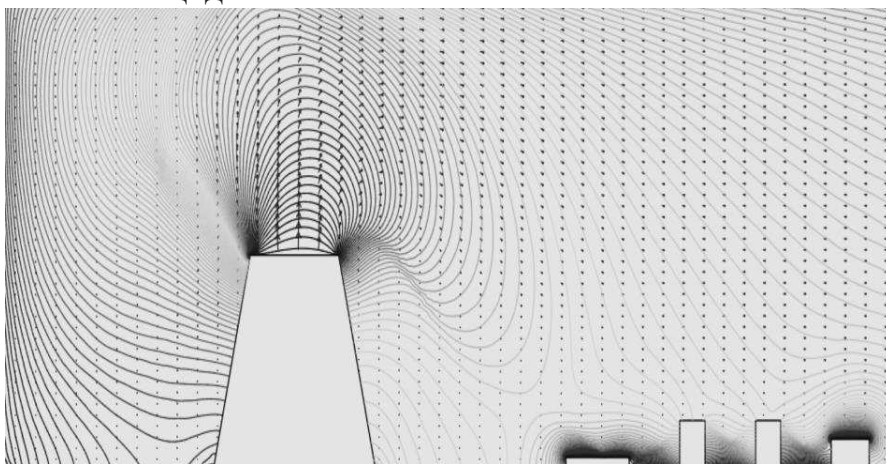


Рисунок 1 - Линии тока и поля концентраций капельной влаги на выходе из градирни, в приземной области и на элементах инфраструктуры АЭС

Полученные в данной работе результаты продемонстрировали достоинства разрабатываемого модельного продукта. Следующим этапом развития данной модели будет расширение ее функциональных возможностей, включая увеличение размерности решаемой задачи до 3D и прогнозирование гололедообразования.