

М.Е. Баранова, А.С. Гаврилов, К.Б. Чихачев

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВЫБРОСОВ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

М.Е. Baranova, A.S. Gavrilov, K.B. Tchikhatchev

RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION OF SALT POLLUTION EMISSIONS FROM EVAPORATIVE COOLING TOWER OF POWER OBJECTS

С использованием предложенной ранее численной модели моделирования водно-солевого факела от испарительных градирен проведены комплексные расчеты солевого загрязнения территории вокруг мощного энергетического объекта, использующего для охлаждения морскую воду. В качестве исходных данных привлекались прогнозные значения по выбросу в атмосферу водяного пара и соли от градирен сооружаемой в настоящее время Ленинградской АЭС-2 (г. Сосновый Бор).

Ключевые слова: ядерная энергетика, численное моделирование атмосферы, башенные испарительные градирни.

Using the previously proposed numerical model simulation of water-salt plume from evaporative cooling towers carried out complex calculations salt contamination around the powerful energy of the object that uses sea water for cooling. The initial data are brought forward values for emission into the atmosphere of water vapor, and salts of the towers being built at the present time, the Leningrad NPP-2 (Sosnovy Bor).

Key words: nuclear power energetics, numerical simulations of the atmosphere, evaporative cooling tower.

В серии предшествующих публикаций авторов настоящей работы [1-3] представлена и апробирована комбинированная гидротермодинамическая численная модель для расчета негативного воздействия градирен в прибрежной зоне на окружающую среду применительно к проектируемым объектам ядерной энергетики.

Как известно [2], единственным источником технической воды для градирен в этом случае является морская. Частичный унос водяных капель через верхний срез башен градирен приводит здесь к возникновению антропогенных источников нового типа, способствующих солевому загрязнению прибрежной зоны. Проблема состоит в том, что градирни – это крупные сооружения высотой до 150 – 170 м и диаметром 50 – 70 м, которые в значительной степени искажают обтекающий их поток воздуха

с образованием выраженных циркуляционных зон. При этом в атмосфере формируются так называемые «пароконденсатные» факела, состоящие как из капель соленой воды, так и конденсирующихся на естественном атмосферном аэрозоле капель пресной воды из выбрасываемого градирней водяного пара.

Предложенная модель построена таким образом, что на первом этапе по данным стандартной гидрометеорологической информации с использованием модели атмосферного пограничного слоя на территории в радиусе 30 км до высоты 2 км рассчитываются поля скорости ветра, температуры и влажности. Результаты этих расчетов используются далее в качестве исходных для гидротермодинамической 3D модели с воспроизведением особенностей обтекания каждой градирни и формируемого ими пароконденсатного факела. На третьем этапе рассчитываются с использованием метода Монте-Карло траектории движения капель соленой воды с учетом всех значимых эффектов их взаимодействия с окружающим пространством.

На начальном этапе использования модели основное внимание уделялось подбору параметров численной реализации и изучению свойств моделируемого пароконденсатного факела.

В данной работе эта комбинированная модель привлекается для расчета суммарного осаднения соли за год на каждый элемент подстилающей поверхности в прилегающей зоне влияния такого энергетического объекта, как сооружаемая в настоящее время в Ленинградской области АЭС – так называемая ЛАЭС-2 (г. Сосновый Бор).

Исходя из расчетов проектировщиков [3], суммарный общий выброс водяного пара из всех пяти градирен ЛАЭС-2 составляет 6820 т в час, вынос соленой воды за счет капельного уноса – 6,2 т в час, а с учетом солености охлаждающей технической воды градирен – около 7,5 ‰, выброс суммы растворенных в воде солей оказывается равным 12,9 г в секунду.

Задача состояла в том, чтобы путем сопоставления экстремальных значений солевого загрязнения с характерными величинами поступления соли за счет естественных осадков выяснить, является ли подобная величина выброса соли опасной для окружающей среды.

Общая схема информационных потоков при построении карт солевого загрязнения местности за счет воздействия градирен представлена на рис. 1. Прежде всего строилась цифровая модель подстилающей поверхности, задающая поле уровня шероховатости подстилающей поверхности. Далее осуществлялся расчет для каждого сезона 4-мерной эмпирической плотности вероятности амплитуды суточного хода температуры, значений относительной влажности, скорости и направления ветра – $P(A, F, U, R)$, влияющих, как это вытекает из [1], на перенос, рассеяние и трансформацию пароконденсатной смеси от градирен, для чего в качестве исходных данных привлекались ряды приземных наблюдений на ближайшей метеостанции г. Ломоносов за период 2001 – 2008 гг. Дополнительно для использования в качестве верхних граничных условий в модели расчета вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) привлекались накопленные архивы реанализа атмосферных процессов в узлах регулярной сетки $2,5^0 \times 2,5^0$ за этот же период.

Затем для центров каждой из этих градаций последовательно воспроизводились с привлечением гидротермодинамической модели (ГТДМ) обтекания градирен поля

скорости ветра, температуры, влажности и водности. Далее с использованием метода Монте-Карло производился расчет необходимого числа траекторий движения в пространстве капель соленой воды и в итоге рассчитывалось суммарное отложение соли на подстилающую поверхность.

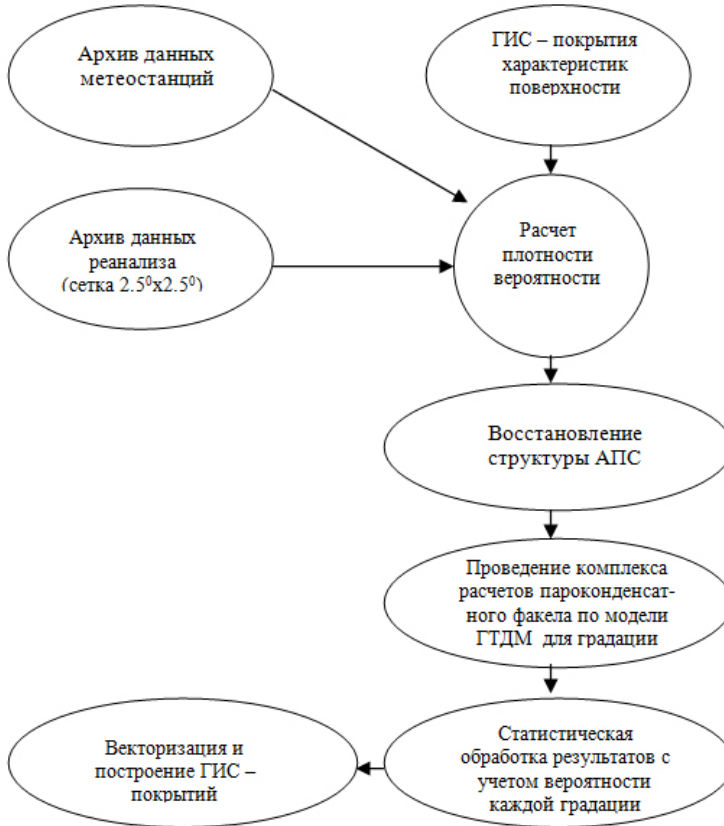


Рис. 1. Общая схема информационных потоков при расчете климатических карт солевого загрязнения.

После этого осуществлялся расчет среднегодовых значений интенсивности осадения соли по формуле:

$$\bar{Y}(x, y) = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_U} \sum_{k=1}^{N_F} \sum_{m=1}^{N_R} Y(x, y | A_i, U_j, F_k, R_m) P_{ijkm},$$

где черта сверху – признак осредненного приземного поля осадения соли, рассчитанного по модели при фиксированных параметрах A_i, U_j, F_k, R_m , причем суммирование производилась по всем градациям с весами P_{ijkm} , соответствующими значениям вероятностей каждой градации. На заключительном этапе полученное поле векторизовалось и сохранялось в обменных форматах ГИС (SHP – форматы).

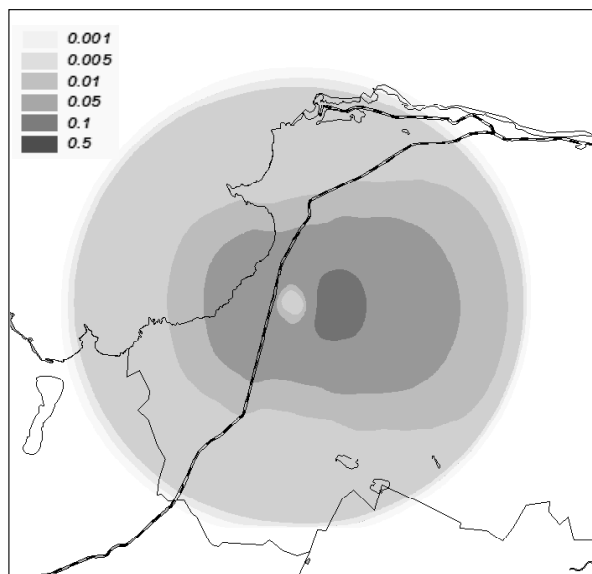


Рис. 2. Расчетное поле среднегодового осадения соли за счет капельного уноса из всех градиен ЛАЭС-2 ($\text{г}/\text{м}^2$ в год).

Расчетное поле интенсивности осадения соли, представленное на рис. 2, имеет достаточно выраженный максимум значений этой величины – около $0,7 \text{ г}/\text{м}^2$ за год на расстоянии около 3 км от площадки расположения ЛАЭС-2. Как показали специальные исследования для данного района, эта величина оказывается в 8 раз ниже поступления аналогичного состава солей за счет естественных осадков и существенно ниже диапазона их межгодовой изменчивости.

Статья подготовлена на основе материалов выполнения поисковой научно-исследовательской работы «Создание численных моделей для решения задач мониторинга и прогнозирования антропогенного загрязнения атмосферы и гидросферы в окрестности действующих и проектируемых объектов ядерной энергетики» в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. по направлению «Мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы» в рамках мероприятия 1.3.1 Программы (конкурс НК-684П).

Литература

1. Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Чихачев К.Б. Численное моделирование воздействия башенных испарительных градиен на окружающую среду, – Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2011, №17, с. 8-17.
2. Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Чихачев К.Б. Численная модель расчета солевого загрязнения прибрежной зоны от градиен на морской воде // Материалы XXIII Междунар. береговой конф. в честь столетия со дня рождения профессора В.П. Зенковича «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности». – СПб., изд. РГГМУ, 2010, с. 173-174.
3. Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Скакальский Б.Г., Пресман М.Р. Влияние башенных испарительных градиен ЛАЭС-2 на окружающую среду // Материалы научно-практической конф. «Научные исследования и инновационная деятельность». – СПб.; Изд-во Политехнического ун-та, 2009, с. 11-22.