pokoleniya-i-issledovanie-ego-kharakteristik (Дата последнего обращения: 10.09.2014).
3. Мильман О.О., Федоров В.А. Воздушно-конденсационные установки. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 208 с.
4. Бессонный А.Н., Дрейнер Г.А., Кунтыш В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник: Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессоного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.
5. Галашов Н.Н., Цибульский С.А. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность тринарных парогазовых установок // Известия Томского политехнического университета. 2013. – Том 323. № 4. С. 14–21.

УДК 536.253

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЯДРА КОНДЕНСАЦИИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ В РАЙОНАХ РАБОТЫ ТЭС

Гвоздяков Д.В. , Губин В.Е.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: dim2003@tpu.ru; gubin@tpu.ru

Современная атмосфера Земли представляет собой совокупность множества газообразных соединений природного [1] (кислород, азот и т.д.) и антропогенного (оксиды азота, серный ангидрид и т.д.) происхождения [1–2].

Известно [3], что в процессе движения неоднократно изменяются геометрические характеристики атмосферных капель. При диаметре (d) от 10^{-6} м до $100 \cdot 10^{-6}$ м последние, как правило, имеют сферическую форму [4], если $100 \cdot 10^{-6} < d < 1 \cdot 10^{-3}$ м эллипсоидную. Основываясь на результатах [4] можно предположить, что геометрические параметры капель повлияют на ареал их выпадения на поверхности Земли, так как движение капель несферической формы отличается от движения шарообразных не только количественными характеристиками (более высокими значениями коэффициента сопротивления – C_D), но и механизмом движения.

Проведенные ранее исследования [5] иллюстрируют механизм формирования седиментационных кислотных осадков в атмосфере, прилегающей к тепловой электрической станции.

Целью настоящей работы является численный анализ результатов процесса формирования седиментационных кислотных осадков в атмосфере, прилегающей к тепловой электрической станции, на поверхности

ядер конденсации цилиндрической и сферической форм с учетом основных значимых факторов.

Рассматривается область решения задачи, соответствующая атмосфере, прилегающей к источнику выброса в воздушный бассейн продуктов сгорания твердых топлив, содержащих SO_3. Механизм формирования седиментационных капель протекает аналогично [6].

При решении задачи принято допущение: по каждой траектории движения к поверхности Земли может пройти одна частица (при ее образовании расходуется весь серный ангидрид и водяной пар, присутствующий в окрестной зоне траектории). Аналогично [4] влияние несферичности капли характеризовалось коэффициентом несферичности Γ, как отношение площади поверхности реальной капли к площади поверхности сферы аналогичного объема.

Уравнения теплопроводности и движения для капли (цилиндрической и сферической форм) в рамках принятой физической модели исследуемого процесса имеют вид:

$$\rho_1 \cdot C_P \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \tag{1}$$

$$\rho_1 \cdot C_P \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \tag{2}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_X}{dt} &= \frac{3 \cdot \Gamma \cdot C_D \cdot \rho_1 \cdot (V_X - U_0) \cdot (V_X - U_0)}{8 \cdot \pi \cdot \delta \cdot \rho_2} \\ \frac{dV_Y}{dt} &= g + \frac{3 \cdot \Gamma \cdot C_D \cdot \rho_1 \cdot (V_Y - V_0) \cdot (V_Y - V_0)}{8 \cdot \pi \cdot \delta \cdot \rho_2} \end{aligned} \right\}, \tag{3}$$

где $\rho_{1,2}$ – плотность, кг/м^3; C_P – изобарная теплоемкость, Дж/(мкг·ºС); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·ºС); T – температура, К; t – время, с; V_X, V_Y – скорости капли в направлении осей x и y, соответственно, м/с; C_D – коэффициент сопротивления; g – ускорение свободного падения, м/с^2; r – радиус, м; δ – характерный геометрический размер капли (рис. 1), м; U_0, V_0 – компоненты скорости внешней среды, м/с.

Начальные и граничные условия для уравнения (1)–(2) имеют вид:

$$\begin{cases} t = 0: \quad T = T_0, \quad 0 \le r \le \delta; \\ r = 0: \quad -\lambda_1 \cdot \dfrac{\partial T_1}{\partial r} + Q \cdot W_K = -\lambda_2 \cdot \dfrac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2; \quad r = \dfrac{\delta}{2}: \quad \dfrac{\partial T_1}{\partial r} = 0. \end{cases} \tag{4}$$

где δ – характерный размер капли, м.

Скорость конденсации рассчитывалась по формуле Герца-Кнудсена [7].

Использовался итерационный алгоритм, разработанный для решения нелинейных задач теплопроводности в условиях локального теплового воздействия [8–9] методом конечных разностей. Для оценки достоверности результатов численного моделирования проводилась проверка консервативности разностной схемы по методике [10–11].

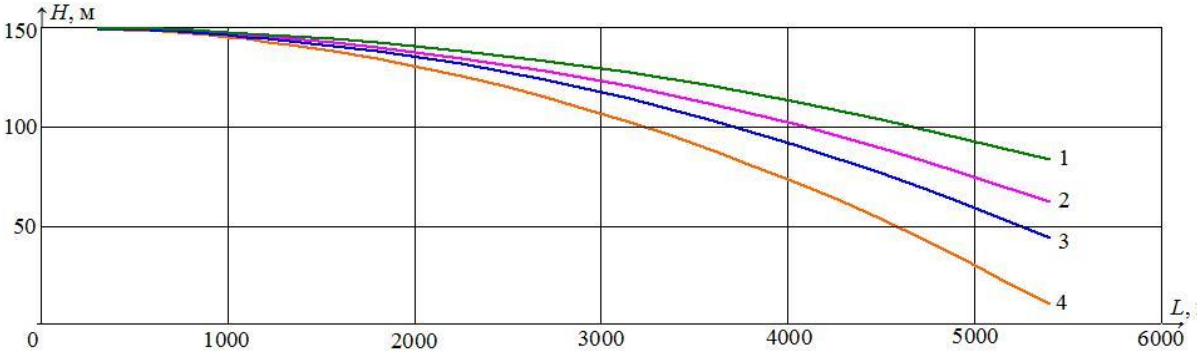
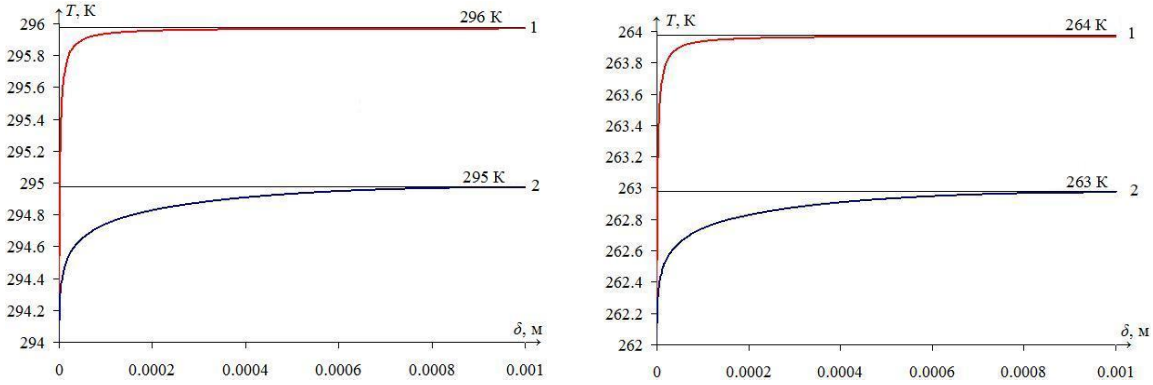


Рис. 1. Траектории движения капель:
1-2 капли цилиндрической формы в зимний и летний период;
3-4 капли в форме сферы в зимний и летний период

Математическое моделирование выполнено при следующих значениях параметров, характеризующих начальные условия рассматриваемого процесса: U_0=5 м/с; V_0=0,5 м/с; температура капли в начальный момент времени: лето – 294 К; зима – 262 К.



а) б)

Рис. 2. Температурные поля капли в момент времени t=600 с:
а) – в летний период; б) – в зимний период
1 – капли в форме сферы; 2 – капли цилиндрической формы

Исследования влияния геометрических характеристик, формирующихся капель кислоты выполнен для диапазона времени 6000 с на поверхности ядер конденсации размером от $5{,}00 \cdot 10^{-6}$ м.

На рис. 1 представлены траектории движения капель в воздушном пространстве в зимнее и летнее время года.Результаты численного моделирования показывают, что траектории движения частиц различной формы отличаются существенно. Так, частицы сферической формы в летний период года за рассматриваемый временной интервал достигают приземных слоев атмосферы (рис. 1 кривая 4). Капли, геометрическая форма которых представляет собой цилиндр, за период 6000 с способны распространятся на расстояния до 5500 м на высоте от 50 до 100 м.

Представленные на рис. 2 результаты математического моделирования позволяют сформулировать следующие выводы: во-первых, в рассматриваемом временном интервале значения температур поверхности конденсации (зимой и летом) сопоставимы с температурой атмосферного воздуха; во-вторых, в летнее время года за рассматриваемый временной интервал приповерхностные слои капли прогреваются, как правило, до температур окружающей среды.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.» Мероприятие 1.4. ГК 14.581.21.0001.

Список литературы:

1. Заиков, Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда [Текст] / Г.Е. Заиков, С.А. Маслов, В.Л. Рубайло – М., Химия, 1991. – 144 с.
2. Волков, Э.П. Газоотводящие трубы ТЭС и АЭС [Текст] / Э.П. Волков, Е.И. Гаврилов, Ф.П. Дужих – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
3. Гегузин, Я.Е. Капля [Текст] / Я.Е. Гегузин – М.: Наука, 1973. – 161 с.
4. 4Терехов, В.И. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокапельных потоках: монография [Текст] / В.И. Терехов, М.А. Пахомов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 284 с.
5. Гвоздяков, Д.В. О влиянии конвекции на формирование капель серной кислоты в атмосфере, прилегающей к району расположения тепловой электрической станции [Текст] / Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин // Известия ТПУ. – 2013. – Т. 323 – №4. – С. 185–189.
6. Gvozdyakov, D.V. The formation of acid rain in the atmosphere, adjacent to the TTP with the joint-condensing sulfur dioxide and water vapor [Text] / D.V. Gvozdyakov, V.E. Gubin, A.A. Matveeva // EPG Web of Conference. – 2014. – V. 76.
7. Лабунцов А.Д. Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамики. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 388 с.
8. Kuznetsov, G.V. Mathematical modeling of complex heat transfer in a rectangual enclosure [Text] / G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet // Thermophysics and Aerodynamics. – 2009. – V. 16. – №1. – P. 119–128.
9. Kuznetsov, G.V. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment [Text] / G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet // Rassian Microelectronics. – 2008. – V. 37. – №2. – P. 131–138.

10. Kuznetsov, G.V. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by heater metal particle [Text] / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V. 18. – №1. – С. 72–79.
11. Kuznetsov, G.V. The influence of heat transfer conditions at the hot–liquid fuel interface on the ignition characteristics [Text] / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – V. 18. – №1. – С. 162–167.

УДК 621.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТОПКАМ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Гиль А.В., Гиль А.Ю.
[1]Томский политехнический университет, Томск
[2]Томский государственный уневтситет
E-mail: andgil@tpu.ru

Постоянное увеличение производства тепловой и электрической энергии в мире ставит перед обществом ряд проблем по перспективному развитию энергетических технологий. Прежде всего, это повышение эффективности, надежности и технологического совершенствования ТЭС, а также снижение негативного влияния ТЭС на окружающую среду.

Поэтому, не смотря на консерватизм генерации тепловой и электрической энергии, и достижения казалось бы предельных параметров рабочего тела с применением парового цикла, в котором основными элементами представляются котельный агрегат и паровая турбина наблюдается активное внедрение новых технологий для более эффективной генерации.

При этом можно отметить, что в последние десятилетия во многих странах мира идет процесс становления открытого постиндустриального общества, которое радикально преобразует социокультурное пространство бытия человека в мире. Внедрение и использование новых инженеринговых, информационных и коммуникационных технологий имеет глобальный характер. И при этом возрастающий уровень технологичности производства, использования новых форм управления процессом производства, основанных на инновационных методах ставит перед современным инженером и управленцем требование мыслить междисциплинарными и межнаучными категориями. Основным ресурсом развития личности в современном обществе становятся информация и знания. Умение работать с базами данных, объем и качество освоенной информации, способность производить новое знание, внедрять новые методы в традиционные технологические цепочки [1].