

**СЕКЦИЯ 4.  
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ И  
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**ЧИСЛЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
АТМОСФЕРЫ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ  
ТОПЛИВ**

Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС

В настоящее время одним из основных источников эмиссии в атмосферу продуктов сгорания твердых топлив являются объекты химического и энергетического комплексов [1]. Ежегодно объемы выбросов токсичных соединений, например  $SO_3$ , в окружающую среду увеличиваются [2]. Взаимодействие (конденсация на поверхности микроскопических частиц) серного ангидрида с компонентами атмосферного воздуха может приводить к образованию кислотных осадков [1]. Результаты исследований [3] показывают, что кислотные образования наносят ощутимый вред не только при выпадении кислотных дождей в прямом смысле слова. Согласно проведенным ранее исследованиям [4] - с увеличением (или уменьшением) скорости движения воздушных масс может изменяться и массовая скорость конденсации  $SO_3$  на поверхности капель. Опыт решения задач [5–6] иллюстрирует возможность численного исследования процессов трансформации и распространения в воздушном пространстве продуктов сгорания натуральных топлив тепловых электрических станций.

Целью настоящей работы является численный подход к исследованию процесса формирования и распространения седиментационных кислотных осадков в атмосфере, прилегающей к тепловой электрической станции, на поверхности ядер конденсации, с учетом основных значимых факторов: нестационарный тепломассоперенос; фазовые превращения; солнечная радиация; скорость перемещения воздушных масс; температура; динамика полета капли.

В работе использовался итерационный алгоритм, разработанный для решения нелинейных задач теплопроводности в условиях локального теплового воздействия [7] методом конечных разностей.

В соответствии с [8] влияние несферичности капли характеризовалось коэффициентом несферичности  $G$ , как отношение площади по-

верхности реальной капли к площади поверхности сферы аналогично-го объема.

Уравнения теплопроводности капли и движения в рамках принятой физической модели исследуемого процесса имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 \cdot C_p \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \lambda \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) \\ \frac{dU_x}{dt} &= \frac{3 \cdot G \cdot C_D \cdot \rho_1 \cdot (U_x - U_0) \cdot (U_x - U_0)}{8 \cdot \pi \cdot \delta \cdot \rho_2} \\ \frac{dV_y}{dt} &= g + \frac{3 \cdot G \cdot C_D \cdot \rho_1 \cdot (V_y - V_0) \cdot (V_y - V_0)}{8 \cdot \pi \cdot \delta \cdot \rho_2} \end{aligned} \right\}$$

где  $\rho_{1,2}$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $T$  – 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<sup>2</sup>;  $U_0, V_0$  – компоненты скорости внешней среды, м/с.

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$t=0: T=T_0, \quad 0 \leq r \leq \delta;$$

$$r=0: -\lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + Q \cdot (W_K^3 + W_K^4) - P = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2; \quad r = \frac{\delta}{2}: \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0.$$

где  $T_1, T_2$  – температура капли и газовой среды, соответственно, К;  $W_K^3, W_K^4$  – массовые скорости конденсации, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $Q$  – тепловой эффект реакции, Дж/кг;  $\delta$  и  $r$  – характерные размеры капли, м;  $P$  – плотность потока солнечной энергии, Вт/м<sup>2</sup>.

Проанализированы два термических периода, характерные для регионов с резко континентальным климатом (например, Сибирь). Значение плотности потока солнечной энергии принималось равным величине солнечной постоянной. Ниже на рис. 1 проиллюстрированы результаты численных исследований в виде зависимостей температур поверхности капли от расстояния (синие пунктирные линии соответствуют температурам воздуха).

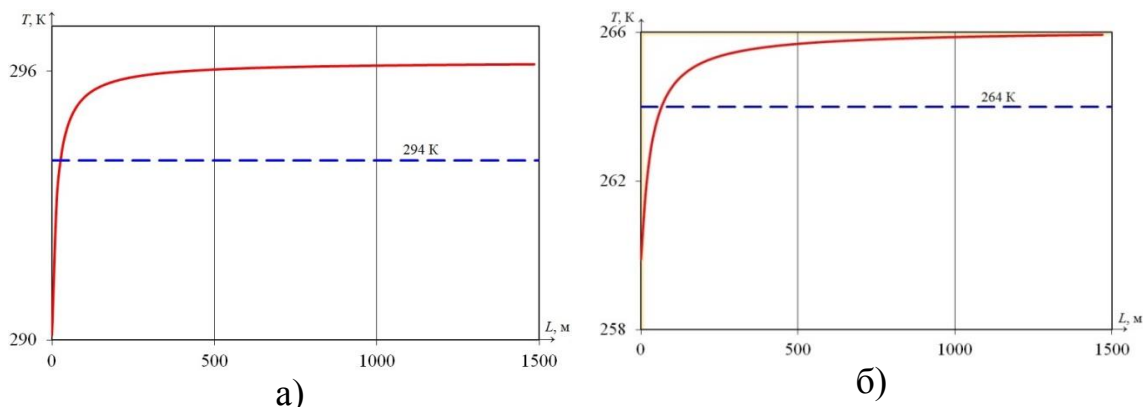


Рис.1. Температурные поля капли в момент времени 1800 с при скорости ветра 5 м/с: а) в летний период; б) в зимний период

Во-вторых, влияние скорости ветра на прогрев образующихся капель существенно. Отличие температуры поверхностей образующихся капель серной кислоты в воздушном пространстве, прилегающей к тепловой электрической станции, от окружающей среды составляет от 0,5...1,2 К. Численная оценка влияния скорости перемещения воздушных масс (рис. 1) не противоречит исследованиям [8, 9]. Ниже на рис. 2 представлены результаты математического моделирования.

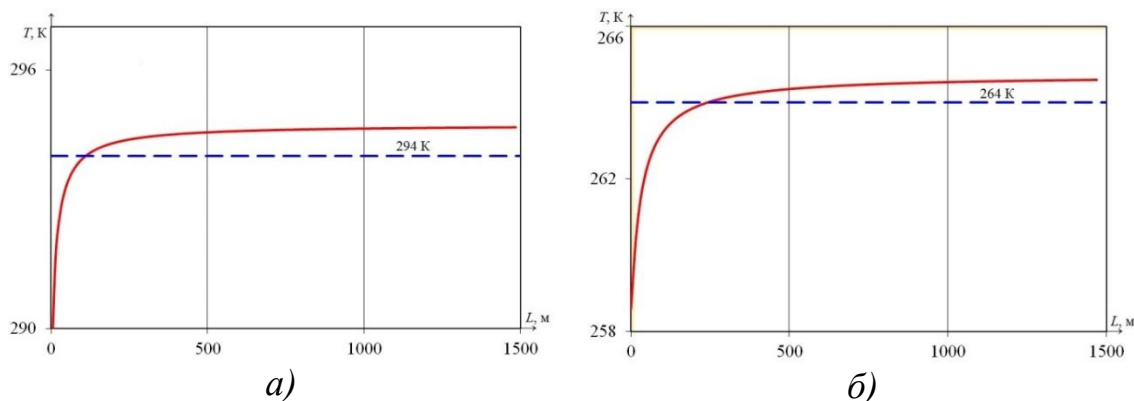


Рис.2. Температурные поля капли в момент времени 1800 с при скорости ветра 10 м/с: а) в летний период; б) в зимний период

В таблице 1 приведены для сопоставления результаты исследования [9] и настоящей работы. Сравнение численных значений математического моделирования процесса формирования кислотных образований на поверхности ядер конденсации выполнено при скорости ветра 5 м/с и температуре окружающей среды 294 К.

Табл. 2. Размеры капель серной кислоты при различных механизмах образования кислотных осадков

t, с	[9]	Конденсация SO <sub>3</sub> и H <sub>2</sub> O с учетом Р
	$\delta_{ch} \cdot 10^3$ , м	$\delta_{ch} \cdot 10^3$ , м
0	$\delta_0 = 5,0 \cdot 10^6$ , м	
600	0,960	0,923
1800	1,616	1,553

где  $\delta_0$  – размер ядра конденсации в начальный момент времени, м;  $\delta_{ch}$  – размер сформировавшейся частицы в момент времени  $t$ , с.

Оценка численных параметров кислотных осадков позволяет сделать вывод о том, что совместная конденсация паров серного ангидрида и водяного пара с учетом потока солнечной энергии заметно (до 4%) замедляет процесс формирования седиментационных осадков. Следует отметить, что через 600 с образуются атмосферные осадки с характерным размером до 1 мм.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.» (уникальный код (ID): PNIER RFMEFI58114X0001). Мероприятие 1.4. ГК 14.581.21.0001.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Израэль, Ю.А. Кислотные дожди [Текст] / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман [и др.] – Ленинград: Гидрометеодиздат, 1989. – 270 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. Гвоздяков, Д.В. Влияние времени года на процесс образования седиментационных кислотных осадков в районе расположения тепловой электрической станции [Текст] / Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 37. – №10. – С. 95–99.
4. Томас М.Д. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на растения [Текст] / М.Д. Томас // В кн.: Загрязнения атмосферного воздуха – Женева, 1962, 252–306.
5. Gvozdyakov, D.V. Acid Droplet Formation and Movement in an Industrial Region Atmosphere [Text] / D.V. Gvozdyakov, V.E. Gubin, // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – 1 August 2015, бр.

6. Gvozdyakov, D.V. The influence of the form of condensation nucleus on the formation and propagation of acid precipitation near operating TPS (Article number 01026) [Text] / D.V. Gvozdyakov, V.E. Gubin // EPG Web of Conference. – 2015. – V. 82.
7. Kuznetsov, G.V. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment [Text] / G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet // Russian Microelectronics. – 2008. – V. 37. – №2. – P. 131–138.
8. Терехов, В.И. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках: монография [Текст] / В.И. Терехов, М.А. Пахомов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 284 с.
9. Гвоздяков, Д.В. Образование и движение капель кислоты в атмосфере промышленного района [Текст] / Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – №3. – С. 38–41.

Научный руководитель: В.Е. Губин, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИИ ТПУ.

## **STUDY OF THE ELECTROPHYSICAL INTRA-STRATAL METHOD OF GASIFICATION AT DIFFERENT HEATING RATES OF COAL**

A.V. Zenkov, K.B. Larionov, V.E. Gubin  
National Research Tomsk Polytechnic University

Due to the constant rise in prices, the reduction of natural gas and the high cost of exploring new fields, there are many countries working on the improved technology of coal gasification. The product thus obtained can fully replace natural gas [1].

One of the most promising technologies to produce gas from coal is underground gasification. This type of gasification is to conduct physical and chemical processes in untouched coal beds. The result is syngas with sufficient thermal properties for energy and industrial purposes [2] and its use in the energy industry is environmentally friendlier compared to the direct combustion of solid and liquid fuels. Furthermore, its cost is significantly lower than the cost of natural gas [3].

This paper presents the study of the syngas produced by electrophysical intra-stratal method of gasification at different heating rates of “Krasnogorsk” deposit anthracite.