

ющее значение имеет температура уходящих газов на выходе из КУ, которая

Тепловая эффективность ПГУ-П

Анализ эффективности ПГУ-П методом малых отклонений

Выводы

в ПГУ-П однозначно зависит от температуры обратной сетевой воды.

Простая схема установки ввиду одноконтурности и отсутствия промежуточного перегрева пара обеспечивает повышенную надежность ПГУ-П.

Экономичность паротурбинной установки не влияет на тепловую эффективность ПГУ-П, поскольку ПГУ работает без потерь в цикле.

Наибольшее влияние на тепловую эффективность ПГУ-П оказывает полнота использования теплоты отработавших в ГТУ газов в КУ, т.е. выбор температурного графика теплосети определяет КПД КУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ольховский Г.Г. Перспективные газотурбинные и парогазовые установки для энергетики (обзор) // Теплоэнергетика. - 2013. - № 2.- С. 3-12.
2. Гуцин, А.В. Парогазовая ТЭЦ Siemens для города Гетеборг (Швеция) // Турбины и дизели (сентябрь - октябрь) 2007. - С. 16-21.
3. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
4. Уваров А.А., Антонова А.М. Технико-экономическая эффективность ПГУ с противодавлением. - Материалы IV Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы». - Томск, 2016.

Научный руководитель: А.М. Антонова, к.т.н., доцент кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ.

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ОСАДКОВ В АТМОСФЕРЕ

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

Одним из факторов негативного воздействия тепловых электрических станций (ТЭС) на окружающую среду является возможное образование кислотных осадков в районах, непосредственно прилегающих к ТЭС [1]. При сжигании топлив в окружающую среду поступают различные загрязняющие вещества [1].

В работе рассматриваются процессы конденсации серного ангидрида SO_3 и водяного пара H_2O . Серный ангидрид образуется в газоходах котлов тепловых электрических станций (ТЭС) путем частичного окисления SO_2 (до 5% от общей доли SO_2) при сжигании высокосернистых топлив, и относится к классу

умеренно опасных продуктов [1]. При взаимодействии серного ангидрида с водяным паром, который относится к парниковым газам, в определенных условиях образуется серная кислота.

В реальной практике в атмосфере всегда содержатся пары воды природного происхождения [2]. Кроме того, в прилегающих к ТЭС районах возможно существенное повышение концентрации водяных паров в воздухе за счет выбросов H_2O , обусловленных работой теплотехнического оборудования станции [1, 3]. Представляет интерес анализ процессов образования капель серной кислоты в воздухе при совместно протекающих процессах конденсации паров SO_3 и H_2O на поверхности ядер конденсации.

Целью настоящей работы является численный анализ влияния влажности воздуха на процесс формирования капель серной кислоты в атмосфере Земли, прилегающей к ТЭС. Проведено исследование процесса совместной конденсации серного ангидрида и водяного пара в летний период года (температура воздуха равна 294 К) при скорости ветра до 5 м/с. Рассматривались три категории ядер конденсации, на поверхности которых образуется капля, способная достигнуть поверхности Земли в процессе седиментации.

В соответствии с [1] принято, что образование капель серной кислоты происходит в результате конденсации SO_3 и водяного пара на поверхности «ядер конденсации» – микроскопических капель воды. Скорость этого термодинамического процесса существенно зависит от температуры [4]. Соответственно достоверность результатов моделирования процесса конденсации определяется точностью задания температурных полей на поверхности конденсации.

Механизм образования серной кислоты [1] основан на взаимодействии, при котором серный ангидрид SO_3 поглощается водяным паром.



Процесс переноса энергии, количества движения и массы в рассматриваемых условиях описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных [5]. Считается, что температура и концентрация на левой границы области решения задачи (дымовая труба ТЭС) не зависят от времени. Для моделирования изменения основных искомым функций использованы нестационарные двумерные уравнения смешанной конвекции в приближении Буссинеска [6].

Расчет скорости конденсации проводился с использованием формулы [4]:

$$W_i K = \beta \cdot \frac{P_A - P_{0_i} \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{R \cdot T}\right)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T}{M}}}$$

где P_A – атмосферное давление, Па; P_{0_i} – предэкспонента, Па; E_i – энергия активации процесса конденсации, Дж/кг; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); M – молярная масса, кг/моль; β – коэффициент конденсации.

Для решения задачи использовался алгоритм [7], разработанный для решения задач сопряженного теплопереноса в областях с локальным источником энергии. Оценка достоверности полученных результатов проводилась проверкой консервативности разностной схемы аналогично [8].

Значение коэффициента конденсации водяного пара варьировалось в диапазоне от 0,05 до 0,4. Ниже приведены результаты численного моделирования роста капель серной кислоты в процессе конденсации серного ангидрида и водяного пара, рассчитанные при скорости ветра 5 м/с в летний период года.

На рисунке 1 представлено изменение размера капли серной кислоты в зависимости от времени при различных начальных размерах ядер конденсации.

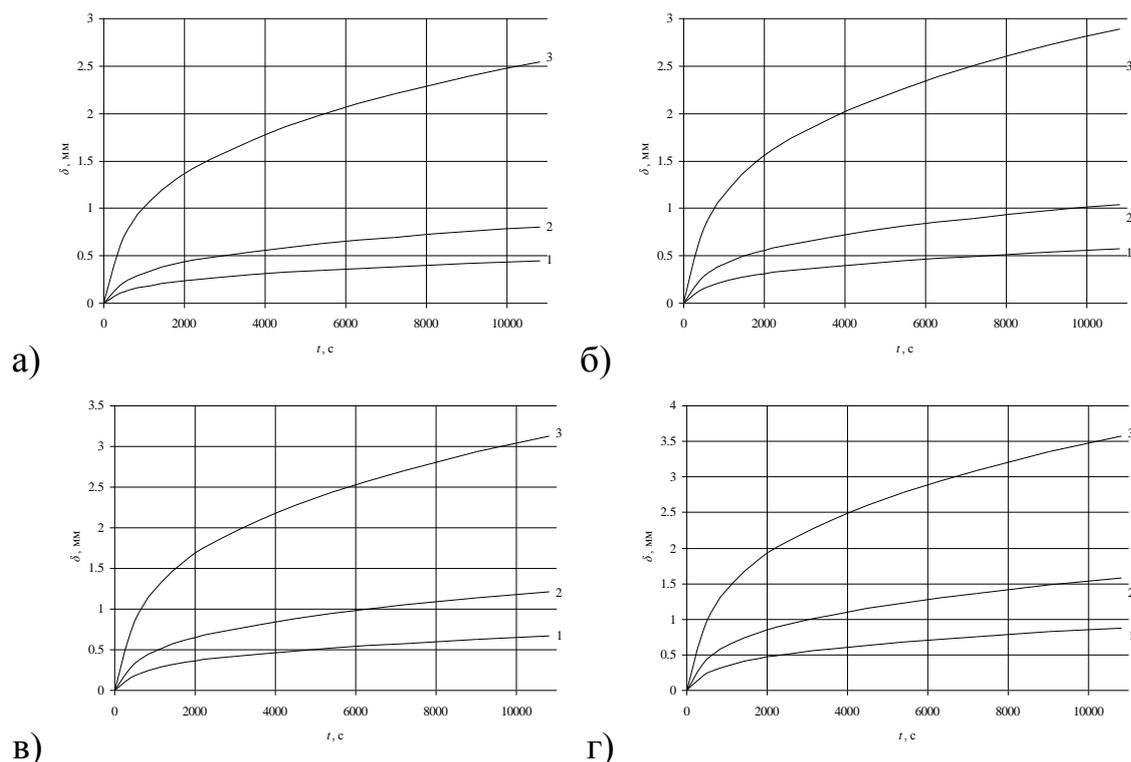


Рис. 1. Изменение размера капли серной кислоты: а) $\beta=0,05$; б) $\beta=0,1$; в) $\beta=0,2$; г) $\beta=0,4$

1 – $\delta_0=0,8 \cdot 10^{-6}$ м; 2 – $\delta_0=1,0 \cdot 10^{-6}$ м; 3 – $\delta_0=5,0 \cdot 10^{-6}$ м;

Результаты (рисунок 1) численных исследований показывают, что при коэффициенте конденсации 0,05 возможно формирование седиментационных кислотных осадков уже через 1800 с с момента начала процесса на поверхности ядер конденсации $\delta_0=5,0 \cdot 10^{-6}$ м. Дальнейшее протекание процесса одновременной конденсации серного ангидрида и водяного пара способствует образованию капли серной кислоты размером до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м за рассматриваемый временной интервал.

Установлено, что в диапазоне изменения коэффициента конденсации от 0,1 до 0,2 формирование кислотных осадков происходит на поверхности ядер конденсации начальным размером $\delta_0=1,0 \cdot 10^{-6}$ м за время 9000 с и 7200 с соответственно. При этом за рассмотренный промежуток времени возможно формирование капли серной кислоты в воздушном пространстве, прилегающем к ТЭС, размером от $1,0 \cdot 10^{-3}$ м до $1,2 \cdot 10^{-3}$ м. Численная оценка роста границы частицы на поверхности ядер конденсации размером $\delta_0=5,0 \cdot 10^{-6}$ м иллюстрирует

возможность образования седиментационных капель серной кислоты за время 1800 с и 600 с с момента начала процесса одновременного ввода серного ангидрида и водяного пара на поверхность «зародыша».

Наиболее интенсивно, как показали исследования, формирование капли серной кислоты в атмосфере Земли происходит на поверхности ядер конденсации с начальными размерами от $1,0 \cdot 10^{-6}$ м до $5,0 \cdot 10^{-6}$ м при параметре конденсации $\beta=0,4$.

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. / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман [и др.] – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 270 с.
2. D.Gvozdyakov. The influence of the form of condensation nucleus on the formation and propagation of acid precipitation near operating TPS [Text] / D.Gvozdyakov, V.Gubin // EPG Web of Conference. – 82, 01026 (2015).
3. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: справочник [Текст] / А.К. Внуков – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.
4. Лабунцов А.Д. Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике [Текст] / А.Д. Лабунцов – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 388 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика [Текст] / П. Роуч – М.: Мир, 1980. – 616 с.
6. Пасконов В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена [Текст] / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов – М.: Наука, 1984.–288 с.
7. Кузнецов Г.В. Сопряженный теплоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения [Текст] / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 79. – №1. – С 56–63.
8. Kuznetsov G.V. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics [Text] / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – Т. 18. – №2. – С. 162–167.