

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ
ИССЛЕДОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СЛЕДОВ КАПЕЛЬ ВОДЫ, ДВИЖУЩИХСЯ ЧЕРЕЗ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS**

Д.В. Антонов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. П.А. Стрижак
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

**MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN STUDYING
TEMPERATURE TRACKS OF WATER DROPLETS MOVING THROUGH HIGH
TEMPERATURE COMBUSTION GASES WITH THE USE OF ANSYS SOFTWARE PACKAGE**

D.V. Antonov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.A. Strizhak
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

***Abstract.** On the basis of experimental data the heat and mass transfer models are developed in ANSYS software package that allow to predict the temperature and concentration tracks of water droplets. Aerosol flows with droplets size (radius) of 0,01–0,35 mm, droplets concentration of $3,8 \cdot 10^{-5}$ – $10,3 \cdot 10^{-5}$ m³ of droplets/m³ of gases, and also single droplets (with the size (radius) of 0,5–1,5 mm) and large water volumes (size of 40–45 mm) are investigated. The maximum range of temperature fall (from 850 K to 600 K) in a track is established. Low temperature time for gas mixture in a track varies from 5 to 25 seconds.*

Введение. Газопарокапельные технологии используются в разных отраслях промышленности и народного хозяйства [1–4], например, пожаротушение, термическая очистка жидкостей, зажигание жидких топлив. Однако достаточно сложно говорить о широком и активном использовании высокотемпературных (более 1000 К) газопарокапельных технологий. Такая ситуация обусловлена довольно ограниченной информационной базой (особенно экспериментальной). Известны теоретические работы [2,3], в которых выдвинуты гипотезы о существенном снижении температуры газов за счет парообразования.

Цель настоящей работы – математическое моделирование процессов теплопереноса при исследовании температурных следов капель воды, движущихся через высокотемпературные продукты сгорания на основе полученных экспериментальных данных с использованием программного комплекса Ansys.

Математическая модель и метод решения. В данной постановке задачи горизонтальные границы являются адиабатическими, а на вертикальных границах поддерживаются постоянные температуры $T_g \approx 1170$ К и $T_a \approx 298$ К.

На границе «жидкость-газ» задавалось уравнение теплопроводности с фазовым переходом на границе (испарение капель воды):

$$R = R_1, 0 < \varphi < 2\pi,$$

$$\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial R} = q - W_e \cdot Q_{\text{исп}}, t > 0; \quad (1)$$

где $W_e = \rho_{\text{ж}} \cdot (R_d - R_1) \cdot \text{Frequency}$ (для капель размером от 1 до 3 мм $\text{Frequency} = 0.1 \text{ c}^{-1}$)

При моделировании применялся пакет «Ansys Fluent». В соответствии с результатами [1–4] использовались шаги по времени $\Delta t = 0.01 \text{ c}$ и координатной сетке $\Delta x = 0.05 \text{ мм}$. Вблизи границ фазового перехода координатная сетка сгущалась (до $\Delta x = 0.01 \text{ мм}$).

Результаты и обсуждения. На рис. 1 приведены температурные поля для исследованных в экспериментах схем подачи воды в поток с продуктами сгорания: аэрозоль, одиночные капли и большие массивы воды. Полученные температурные поля обосновывают выдвинутые при объяснении экспериментальных результатов гипотезы о существенно отличающихся аэродинамических и температурных следах аэрозоля и не распыленной воды.

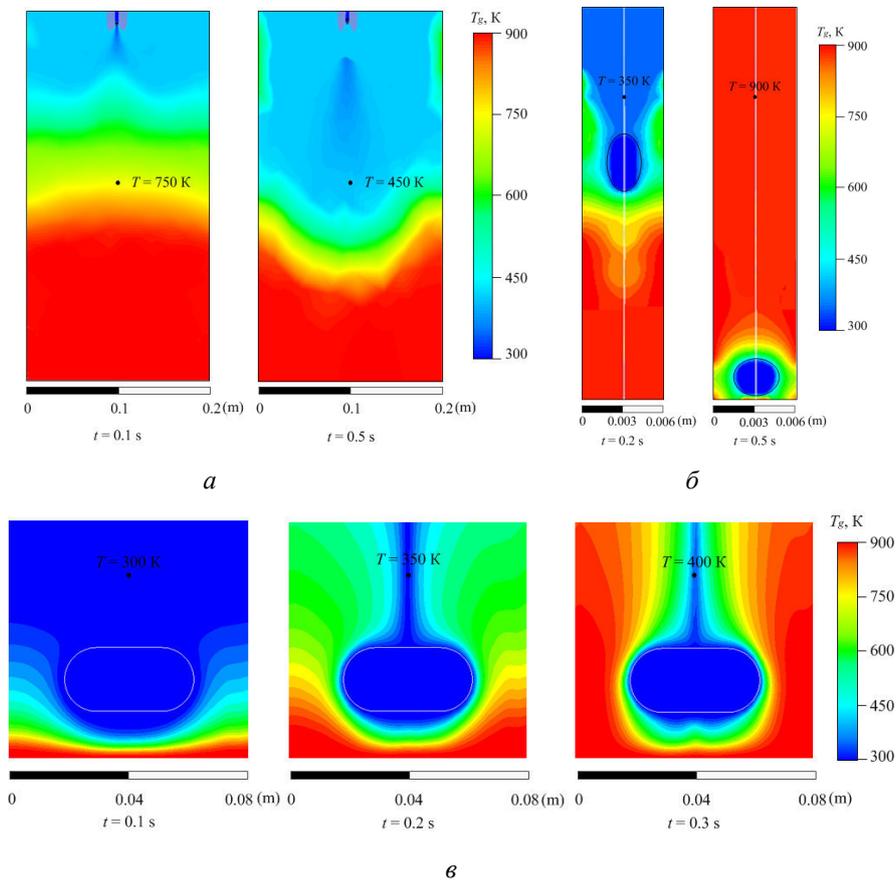


Рис. 1. Поля температуры в канале после впрыска аэрозоля (а), одиночных капель (б) и массива (в) воды в разные моменты времени

Можно отметить, что температура на линии траектории движения массива существенно ниже, чем в случае аэрозоля. В частности, на рис. 1 можно видеть температуру в следе массива около 300 К. Это обусловлено лишь движением относительно холодного массива через продукты сгорания. Через менее чем 1 секунду температура в следе начинает интенсивно подниматься (по мере удаления массива его

температурный след существенно сходится). Аналогичные заключения можно сделать для одиночных капель, но поперечные размеры следа последних еще меньше.

На рис. 2 представлены для сравнения экспериментальные и теоретические значения времен существования температурных следов иллюстрируют, что с ростом размеров капель отклонения минимизируются. Для малых R_d разница между экспериментальными и теоретическими значениями времен τ растут. Это можно объяснить в основном лишь тем, что в проведенных экспериментах регистрировалось довольно интенсивное торможение малых капель и их разворот и повторное прохождение через области, в которых были закреплены термопары. Т.е. можно сделать вывод о влиянии фактора закручивания капель продуктами сгорания в своем следе на длительность сохранения относительно пониженных температур парогазовой смеси. Как следствие, экспериментальные значения времен τ больше полученных при математическом моделировании.

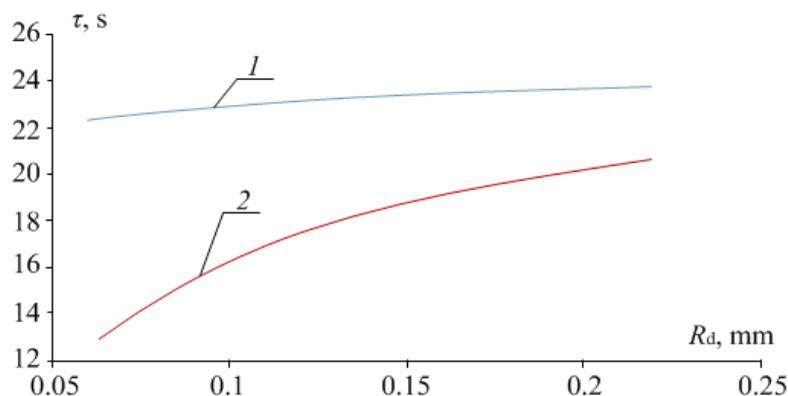


Рис. 2. Времена сохранения температурного следа аэрозольного потока воды в зависимости от размеров капель: 1 – эксперимент, 2 – модель

Заключение. По результатам экспериментов разработаны физическая и математическая модели тепломассопереноса в пакете Ansys, которые могут быть использованы при прогнозировании температур газов, концентраций паров и газов в следе капельных аэрозольных потоков, а также времен их сохранения.

Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда (проект № 14–39–00003)/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терехов В.И., Терехов В.В., Шишкин Н.Е., Би К.Ч. Экспериментальное и численное исследования нестационарного испарения капель жидкости // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83. – № 5. – С. 829–836.
2. Авдеев А.А., Зудин Ю.Б. Кинетический анализ интенсивного испарения (метод обратных балансов) // Теплофизика высоких температур. – 2012. – Т. 50. – № 4. – С. 565.
3. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние объемной концентрации совокупности капель воды при их движении через высокотемпературные газы на температуру в следе // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – Т. 56. – № 4. – С. 1-13.
4. Муратова Т.М., Лабунцов Д. А. Кинетический анализ процессов испарения и конденсации // Теплофизика высоких температур. – 1969. – Т. 7. – № 5. – С. 959-967.