

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ИНЖЕКЦИИ НА ДИНАМИКУ И ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Федотова Н.С., Маслов Е.А.

Научный руководитель: Маслов Е.А., доц., к. ф.-м. н

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: natafedotova91@mail.ru; maslov_eugene@mail.ru;

В технических процессах, связанных с теплоэнергетикой, многофазные потоки наблюдаются в котельных установках при сжигании твердого и жидкого топлива в топках, при движении пылегазовых выбросов в системах вентиляции. Все эти потоки объединяет то, что они состоят из сплошной среды и дисперсной фазы. Объектом исследования являются каналы теплоэнергетического оборудования.

Актуальность данной работы заключается в поиске новых путей моделирования энергосберегающих и материалосберегающих технологий. Проводится параметрический анализ испарения капель воды в паровоздушной смеси в канале круглого сечения.

Целью настоящей работы является численный анализ процесса испарения капель воды с различными начальными координатами, размерами, скоростью, температурой при инъекции в поток насыщенного или перегретого пара движущегося по цилиндрическому каналу с постоянным массовым расходом. Схема области решения представлена на рис. 1.

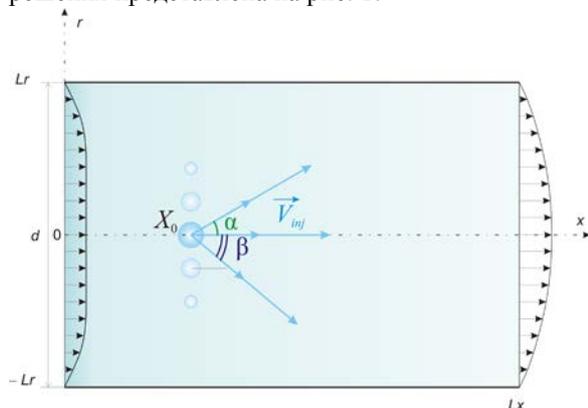


Рис. 1. Область решения рассматриваемой задачи

Течение жидкости описывается системой стационарных уравнений Навье–Стокса, движение и тепловое состояние капли описывается уравнением движения в поле скоростей установившегося течения газа с учетом сил вязкого сопротивления и силы тяжести и уравнением теплопроводности в сферической системе координат, которые дополняются начальными условиями и граничными условиями.

При постановке задачи течение во входном сечении канала считалось безвихревым, с постоянной скоростью u_{in} . На входе в канал температура потока T_{in} постоянна, на выходе из канала задавалось значение теплового потока. На стенках канала выполнялись условия «прилипания» и адиабатичности.

Решение представленной задачи осуществлено методом контрольного объема [1]. Одной из особенностей математического моделирования рассматриваемого процесса является использование пристеночных функций при реализации граничного условия на поверхности преграды через эмпирические зависимости для низкорейнольдсовых течений.

Алгоритм численного решения поставленной задачи методом контрольного объема тестирован решением задачи о течении вязкой жидкости в плоском канале постоянного сечения [2, 3].

На рисунках 2, 3, 4 представлены изотакси скоростей u , v , изобары для течения воздуха в канале круглого сечения. Анализ полей скоростей демонстрирует их качественное совпадение. Численное отличие наблюдается в локальных значениях скорости. Это объясняется различием в значениях начальной скорости. Анализ поля давления позволяет выявить особенности структуры течения в канале круглого сечения теплоносителя.

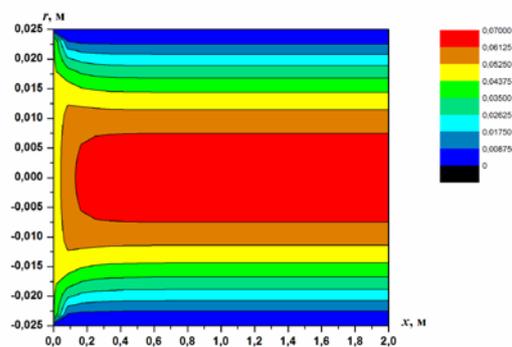


Рис. 2. Изотакси воздуха – продольная составляющая вектора скорости

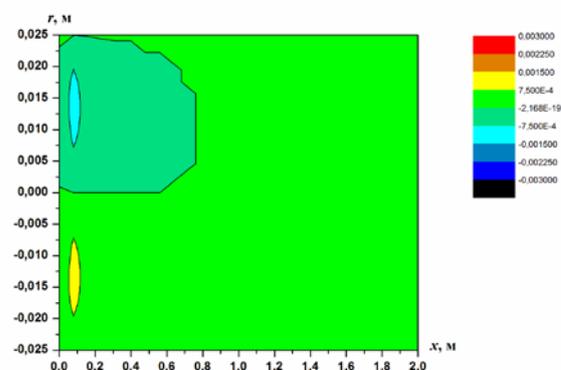


Рис. 3. Изотакси воздуха – поперечная составляющая вектора скорости

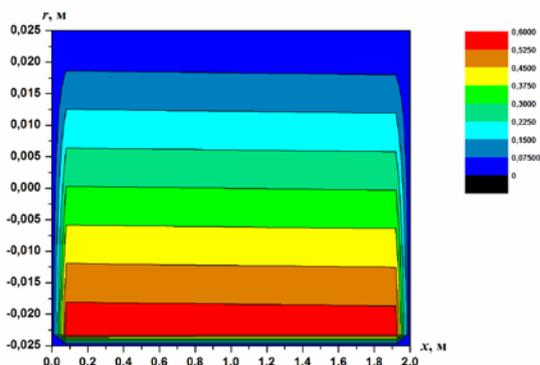


Рис. 4. Изобары воздуха

Для анализа испарения капле воды в паровоздушной смеси в канале круглого сечения рассматривался канал длиной 2 м и диаметром 0,5 м. Исследование проводим при следующих постоянных значениях: $T_f = 100^\circ\text{C}$ – температура движущегося потока, $u_{in} = 10$ м/с – начальная скорость движущегося потока, $T_{inj} = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура инжектируемой капли воды в газовый поток. В рассматриваемом канале исследуется испарение капле воды с различным начальным диаметром $d_0 = (1 \div 7) \cdot 10^{-3}$ м, с различными начальными координатами $X_0 = \{0; -0,2 \div 0,2\}$ м и при разных направлениях начальной скорости частиц $V_{inj} = \{1; -0,5 \div 3\}$ м/с.

На рис. 5 представлены траектории движения капле с различным начальным диаметром инжекции при постоянными значениями начальных координат $X_0 = \{0; 0\}$ м и скорости $V_{inj} = \{1; 1\}$ м/с.

Как видно из приведенного рис. 5 при заданных параметрах исследования капле воды с начальными диаметрами меньше 5 мм гарантировано испаряются при впрыскивании их в поток паровоздушной смеси на оси симметрии канала. Для капле большего диаметра нужно увеличить скорость потока, для того чтобы они не осаждались на стенки канала.

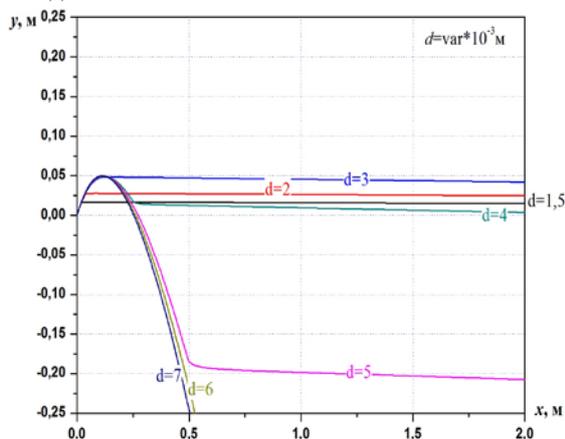


Рис. 5. Зависимость траектории движения от размеров частиц $d_0 = (1 \div 7) \cdot 10^{-3}$ м

По рис. 6 видно, что протяженность участка испарения капле диаметром 5 мм одинакова: составляет 0,5 м и в меньшей степени зависит от изменения параболического профиля скорости потока; испарение капле будет происходить при начальной инжекции частиц в диапазоне $X_0 = \{0; 0 \div 0,2\}$ м.

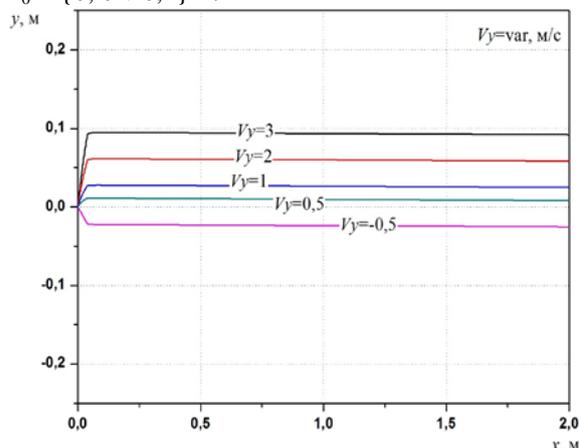


Рис. 6. Траектории движения капле с начальным диаметром $d_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ м в зависимости от V_{inj}

В результате анализа полученных данных капле диаметром $d_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ м при инжекции в точке $X_0 = \{0; 0\}$ м испаряются в приосевой области, что позволяет инжектировать капле такого диаметра в широком диапазоне канала $X_0 = \{0; -0,2 \div 0,2\}$ м. При изменении компоненты начальной скорости $V_{inj} = \{1; -0,5 \div 3\}$ м/с данный диапазон останется прежним $X_0 = \{0; -0,2 \div 0,2\}$ м.

Разработанный расчетный метод может использоваться для расчета осредненных параметров теплообмена и сопротивления и для расчета локальных характеристик течения.

Литература

1. Versteeg Н.К., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. – Longman Scientific&Technical. – 1995. P. 258
2. Виноградова И.А., Зубков В.Г. Газодинамические процессы в теплоэнергетических установках на базе метода контрольного объема // Математическое моделирование, 2002 г., Т. 14, № 6, С. 3 – 24.
3. Маслов Е.А., Жарова И.К., Федотова Н.С. Особенности численного моделирования течения в канале // Всероссийская конференция по математике и механике, посвященная 135-летию Томского государственного университета и 65-летию механико-математического факультета: Сборник тезисов (Томск, 02 - 04 октября 2013 г.) - Томск: Изд-во «Иван Федоров», 2013. - 244 с. ISBN 978-5-91701-084-7. С. 173.