

**Смешанная конвекция в гладкотрубных пучках глубоководных теплообменных аппаратов: численное моделирование в сопряженной постановке**

**Засимова Марина Александровна**

*Студент (магистр)*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт прикладной математики и механики, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: zasimova\_ma@mail.ru*

Доклад посвящен моделированию работы глубоководного теплообменного аппарата, принципы действия которого основаны на пассивном теплосъеме за счет естественной конвекции. Такие теплообменные аппараты, применяемые, например, для нагрева воды в бассейнах, могут быть включены в комплексы оборудования подводной добычи природного газа со дна Мирового океана. При частичной выработке месторождения для повышения давления газа, транспортируемого на берег, необходимо использовать глубоководную компрессорную станцию. В состав ее оборудования должны входить теплообменные аппараты с гладкотрубными пучками, охлаждение которых организуется за счет естественной конвекции окружающей морской воды (см. Fantoft R., Subsea gas compression - challenges and solutions // Offshore Technology Conference, Texas, 2005, pp. 1-6). На протяжении ряда лет на кафедре гидроаэродинамики СПбПУ ведутся исследования, направленные на изучение таких теплообменных аппаратов. До недавних пор рассматривалась только конвекция воды в межтрубном пространстве. В 2D и 3D постановках ставились модельные задачи в предположении постоянства температуры на теплоотдающих поверхностях. В реальных условиях, при прохождении горячего газа по трубам имеет место неравномерное распределение температуры охлаждаемой поверхности по высоте трубного пучка, поэтому возникает необходимость решения согласованной задачи сопряженного теплообмена.

Представляются результаты решения согласованной задачи, в рамках которой совместно моделируется вынужденное пространственное течение охлаждаемого газа в трубах с множественными поворотами на 180 градусов, теплопроводность в стальных стенках труб и смешанная нестационарная трехмерная конвекция воды в межтрубном пространстве. Моделирование течения воды осуществляется на основе решения полных уравнений Навье-Стокса, эффекты плавучести учитываются в приближении Буссинеска. Течение газа описывается с помощью уравнений Рейнольдса, замыкаемых полуэмпирической моделью турбулентности. Перенос тепла через стенки труб описывается нестационарным уравнением теплопроводности. Расчеты выполнены с использованием параллельной версии кода ANSYS Fluent со вторым порядком дискретизации по пространству и времени.

За счет силы плавучести в межтрубном пространстве формируется вертикальное подъемное течение, при этом скорость течения возрастает по мере продвижения от нижних участков труб к верхним. Наблюдается сильная неоднородность теплоотдачи по высоте трубного пучка, которая связана как с переходом от ламинарного течения вблизи нижних участков труб к турбулентному вблизи верхних, так и с падением перепадов между температурой внешней поверхности стенки и температурой окружающей среды в силу постепенного охлаждения газа.

**Слова благодарности**

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-02382). Автор выражает благодарность научным руководителям – доц. Н.Г. Иванову, проф. В.В. Рису и н.с. Н.А. Шуру.