

Моделирование потерь давления воздуха в элементах воздушного конденсатора с помощью CFD пакетов

77-48211/476083

08, август 2012

Жинов А. А., Шевелев Д. В., Ананьев П. А.

УДК 621.175

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

k1kf@bmstu-kaluga.ru

denis.v.shevelev@gmail.com

В парогазовых установках с котлами-утилизаторами абсолютный расход пара, выходящего из турбины, обычно невелик, что позволяет применять воздухоохлаждаемые конденсаторные установки (ВКУ). Также ВКУ используют при дефиците охлаждающей воды. Воздушные конденсаторы компактны, хорошо вписываются в генплан энергоустановок и электростанций. ВКУ представляет собой пучок оребренных труб, внутри которых происходит конденсация пара. Трубы омываются воздухом при его естественной или вынужденной циркуляции.

Наибольшее распространение получил воздушный конденсатор непрямого охлаждения, представляющий собой многорядный трубный пучок с наружным оребрением труб, собранных в коллектор, расположенный в коробе (Рисунок 1).

Атмосферный воздух засасывается в короб конденсатора через проём в нижней его части. Для управления направлением входящего воздушного потока в проёме установлена регулируемая заслонка, образованная из плоских лопаток. Войдя внутрь короба, воздух проходит через трубный пучок, по трубкам которого движется конденсирующийся пар. Выброс нагретого воздуха в атмосферу осуществляется с помощью вытяжного вентилятора расположенного в верхней части короба.

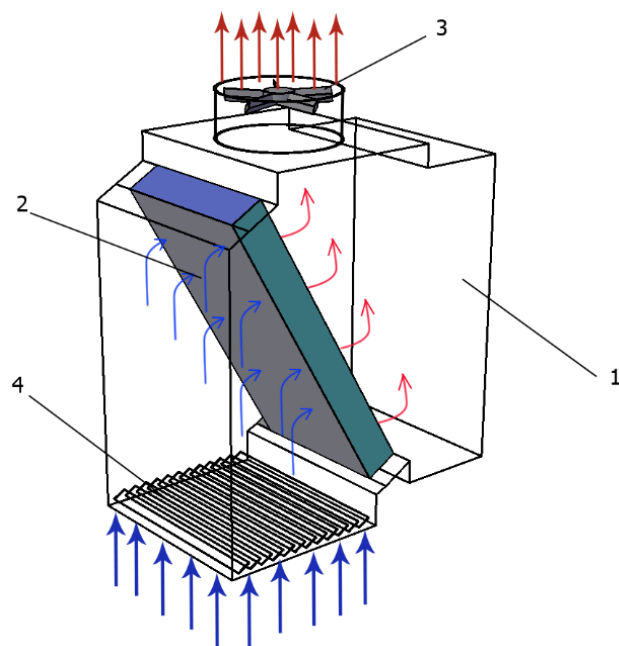


Рис. 1 – Воздухоохлаждаемая конденсационная установка:

1 – короб; 2 – трубный пучок; 3 – вытяжной вентилятор; 4 – управляемая заслонка

Использование ВКУ связано с определенными проблемами. Так, в холодное время года, возможно обледенение части его труб, нарушение циркуляции пара, замерзание конденсата и как следствие нарушение герметичности. Причины этого – сложное нестационарное течение воздуха в коробе ВКУ, искривленный профиль скоростей потока возле вентилятора, и, как следствие, неравномерное поле скоростей на входе и выходе из трубного пучка.

Совершенствовать конструкцию и ускорить экспериментальную доводку ВКУ позволяет исследование аэродинамики потоков воздуха внутри и снаружи короба методами численного моделирования в CFD пакетах. При этом прямое численное моделирование потоков воздуха в коробе практически невозможно. Размеры межреберных каналов в трубном пучке – доли миллиметра, а размеры всего трубного пучка и короба – метры.

Аэродинамика воздушных потоков внутри короба ВКУ и его гидравлические характеристики в основном определяются гидравлическим сопротивлением оребренного трубного пучка.

Исследовалась модель ВКУ конструкции НПВП «Турбокон», геометрические характеристики трубного пучка которой представлены на рисунке 2.

Проведённые исследования показали [1], что для корректного определения потерь давления в трубном пучке, при использовании CFD пакетов программ и прямом численном моделировании, модель должна иметь характерную расчетную область с поперечным размером не менее 0,15 x 0,064 м и разбита на ~ 200 000 расчетных ячеек. Для всей трубчатой поверхности поперечным размером 1,162 x 2,500 м количество расчетных ячеек составит величину порядка ~ 60 000 000. Решить такую задачу проблематично даже с использованием вычислительных возможностей современных супер-ЭВМ.

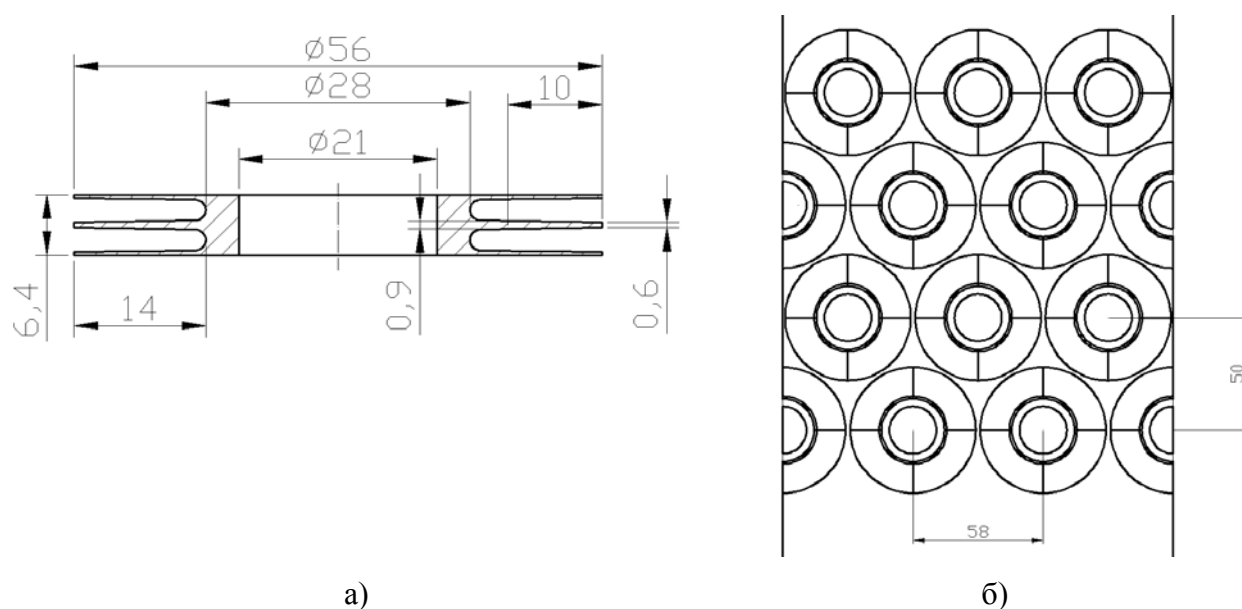


Рис. 2 – Геометрические характеристики трубного пучка:

- а) поперечное сечение элемента оребренной трубки,
- б) сечение трубного пучка (вход воздуха снизу)

Другой путь решения задачи расчета аэродинамики потоков воздуха внутри короба ВКУ, это замена оребренной поверхности в расчетной модели анизотропным фильтром – обособленной зоной с заданным воздействием на рабочее тело по каждой из проекций вектора скорости на оси координат (Рисунок 3).

В этом случае, для области потока, занимаемой фильтром, можно задать по каждому координатному направлению x, y, z величину силы сопротивления и тепловыделение.

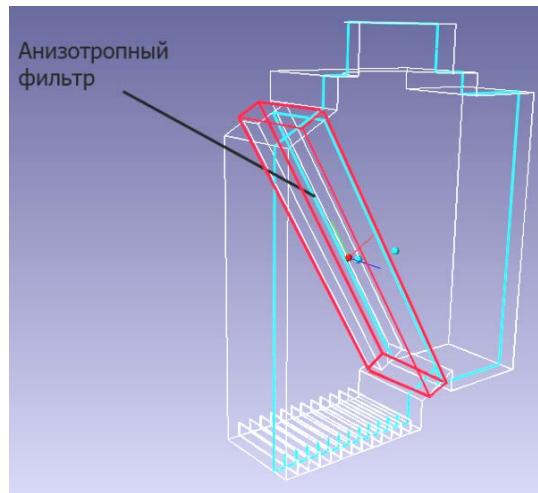


Рис. 3 – Анизотропный фильтр в расчетной области

Моделирование в использованных CFD пакетах построено на численном решении уравнений Навье-Стокса вида:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla \left((\mu + \mu_t) (\nabla V + (\nabla V)^T) \right) + \frac{R}{\rho} \quad (1)$$

Сила сопротивления в уравнениях Навье-Стокса, в пределах анизотропного фильтра, может быть определена уравнением вида:

$$R_i = -\mu D_i v_i - \rho E_i \frac{v_i^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ и μ – плотность и молекулярная вязкость рабочего тела;

i – пространственная координата - x, y, z ;

D_i и E_i – коэффициенты, которые задают силу сопротивления течению рабочего тела в каждом направлении x, y, z ;

v_i – составляющие вектора скорости.

При моделировании потока в трубном пучке с помощью фильтра, в направлении, параллельном оси труб коэффициенты D_i и E_i можно задать бесконечно большими, а в перпендикулярных оси труб направлениям их значения определить из гидравлической характеристики конкретного трубного пучка. Такую характеристику можно получить, исследовав модель представленную на рисунке 4.

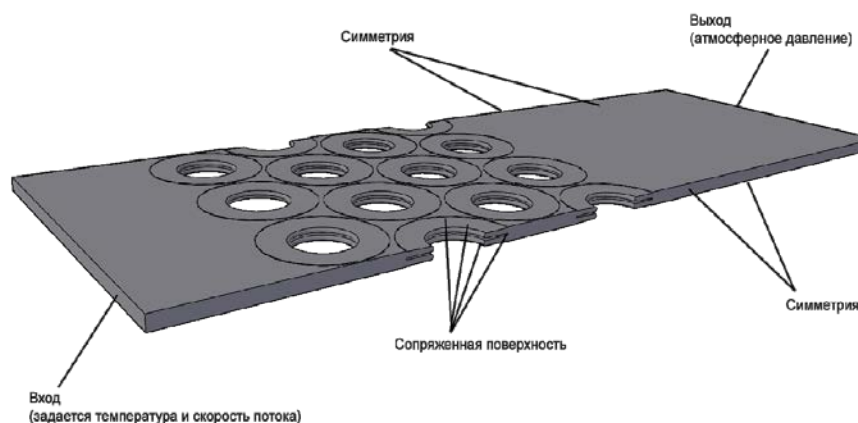


Рис. 4 – Расчетная модель и граничные условия расчета

С целью верификации моделирование проводилось в нескольких CFD-пакетах: FlowVision, Phoenix и OpenFOAM. В качестве расчетной, выбрана турбулентная модель течения несжимаемой жидкости. В качестве модели турбулентности применялась стандартная $k-\varepsilon$ модель. Определение величины потерь давления проводилось для скоростей воздуха во фронте решетки 1...5 м/с. Обобщенные результаты расчета представлены на Рисунке 5.

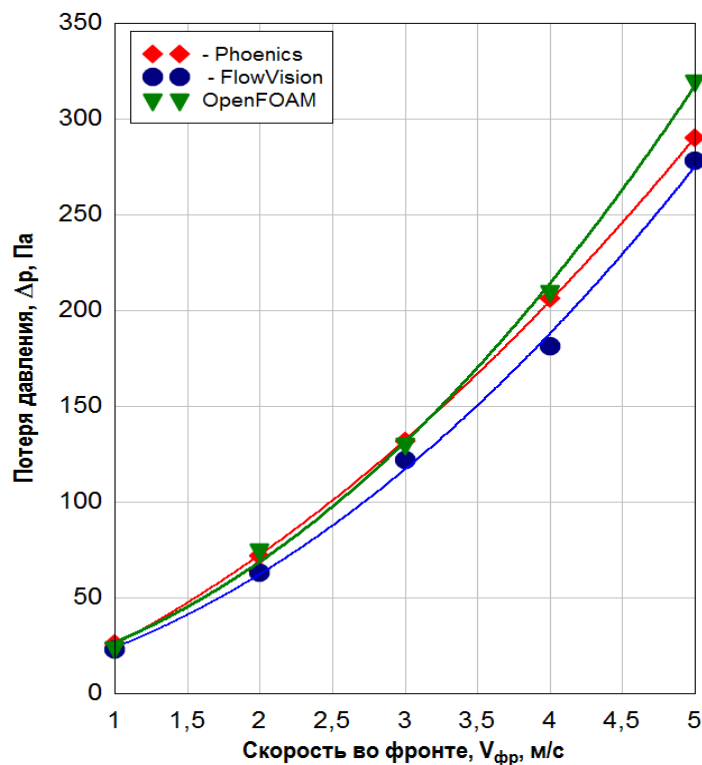


Рисунок 5 – Гидравлическая характеристика трубного пучка ВКУ

Из рисунка 5 видна хорошая сопоставимость результатов расчетов, полученных с помощью различных CFD пакетов.

Найденные значение величины потерь давления позволяют определить силу сопротивления, действующую на поток в пределах трубного пучка по формуле:

$$R = \frac{\Delta p}{L}, \quad (3)$$

где L – протяженность трубного пучка в направлении потока. Зависимость силы сопротивления от скорости потока воздуха на входе в трубный пучок представлена на рисунке 6.

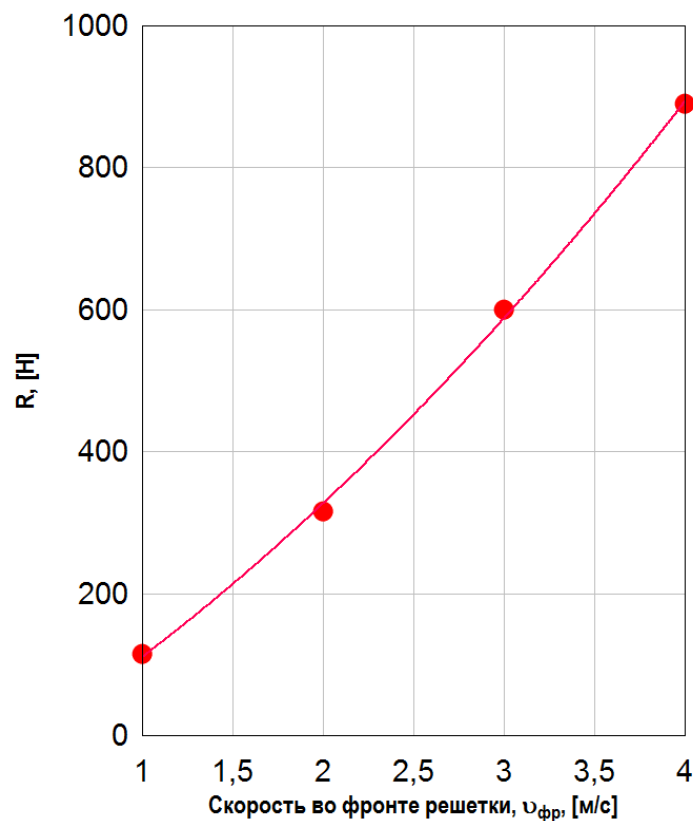


Рисунок 6 – Сила сопротивления, создаваемая анизотропным фильтром, в направлении основного потока воздуха

Результаты, представленные на рисунке 6, могут быть аппроксимированы полиномом второй степени:

$$R = -45 + 133v - 25v^2 \quad (4)$$

Это позволяет определить коэффициенты D_i и E_i в уравнении (1).

Полученные результаты дают возможность моделировать пространственное течение воздуха внутри короба ВКУ и определять поля параметров на входе и выходе из трубного пучка без прямого численного моделирования течения воздуха в межтрубном пространстве. Расчетная модель ВКУ при этом значительно упрощается и становится возможным проведение многовариантных расчетов для оптимизации его конструкции.

Список литературы:

1. Подготовка и участие в испытаниях аппаратов воздушного охлаждения: Отчет по теме " Ж-К1-02-10 (№10006)". / КФ МГТУ. Руководитель темы А.А. Жинов. Исполнители Шевелев Д.В., Карышев А.К. и др., Калуга, 2010, 47 с.