

content of carbon monoxide CO is observed. Its value compensates the concentration of combustible components and increases the rate of calorific value of produced syngas.

Based on the calorific value of the received syngas, it can be concluded that the effectiveness of the proposed method of underground gasification of coal is much higher than the existing technology where the air blowing is applied [5].

The work was done at the expense of subsidies within the framework of the Program of improving the competitiveness of TPU.

#### REFERENCES:

1. Малолетнев А. С., Шпирт М. Я. Современное состояние технологий получения жидкого топлива из углей // Российский Химический Журнал, 2008. - С. – 44-52.
2. Лазаренко С.Н., Кравцов П.В. О перспективах развития технологии подземной газификации углей в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2000. - №5. – С. – 38-41.
3. Кафтанов С.В. Общая химическая технология топлива. – Москва-Ленинград: Госхимиздат. – 1947. – 498 с.
4. Журавлев Н.В., Потокина Р.Р., Исмагилов З.Р., Сурин Е.В. Изучение физико-химических показателей горючих газов угольных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013, №5. – С.48-53.
5. Зоря А.Ю., Крейнин Е.В., Лазаренко С.Н., Тризно С.К. Газ подземной газификации углей — альтернативный вид энергетического сырья // Пром. энергетика. — 2011, N 5. — С.57-59

Head of research: V.E. Gubin, Sc.D., associate professor, NRTPU.

### **ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ В КРИВОЛИНЕЙНЫХ КАНАЛАХ**

А.А. Кондаков, А.С. Матвеев, С.А. Шевелев  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС

В турбинах АЭС большая часть ступней работает в области ниже кривой насыщения. Экономичность, а также их эрозионный износ этих ступней в значительной степени зависит от степени влажности

пара, поступающего на лопатки. Увеличение средней влажности пара на 1 % приводит к уменьшению внутреннего относительного КПД турбины примерно на 1 % [1]. Одним из наиболее эффективных способов является отвод влаги при помощи различных сепарационных устройств. В подавляющем большинстве турбин АЭС применяется сепарация пара после цилиндра высокого давления в сепараторах инерционного типа.

Целью настоящей работы является численное исследование движения и осаждения капель влаги в каналах сложной формы, характерных для трактов сепарационных устройств.

Основу математических моделей движения потока в канале составляют уравнения Навье-Стокса. В качестве метода решения выбран алгоритм SIMPLE Патанкара-Сполдинга [2].

Дискретизация исходных уравнений осуществлялась методом контрольного объема (КО). По причинам, указанным в [2], будем использовать прямоугольную шахматную сетку.

Рассмотрим задачу стационарного ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости в плоском прямолинейном канале.

В плоский канал длиной  $L$  и высотой  $H$  втекает жидкость плотностью  $\rho$  и динамической вязкостью  $\mu$ .

Математическая модель рассматриваемой задачи имеет следующий вид.

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho ui)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial x}; \\ \frac{\partial(\rho iv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vv)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial y}; \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Граничные условия для решения данной системы:

1. Условия на входе в канал:  $x = 0, 0 < y < H : u = const, v = 0$ .
2. Условия на стенках канала:  $y = 0, y = H, 0 \leq x \leq L : u = v = 0$ .
3. Условия на выходе из канала  $x = L, 0 < y < H : \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0$ .

В качестве примера представлены результаты для прямолинейного канала размером  $1 \times 0,1$  м при числе Рейнольдса на входе в канал  $Re_H = 150$ , что соответствует скорости на входе в канал 1 м/с, используя при этом сетку размерностью  $100 \times 100$ . Так как канал симметричен,

то графические результаты расчетов представлены для половины канала.

На рисунке 1 представлены профили скорости на различном удалении от входа в канал: 1; 2.. 100 см.

Верификация модели производилась сравнением полученных результатов с расчетными и экспериментальными [4] работами других авторов. Сравнение показало высокую достоверность результатов, полученных на модели.

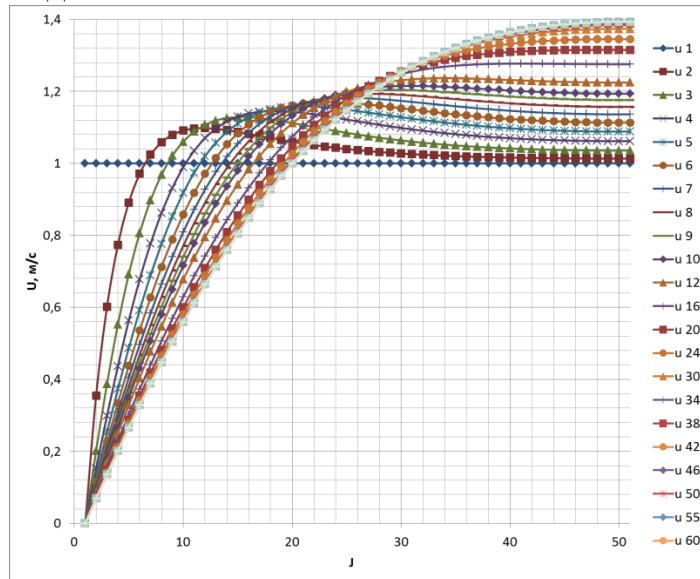


Рис. 1. Изменение профиля скорости по длине канала для различных сечений

Во многих случаях, связанных с математическим моделированием течения жидкости, встречаются области с нерегулярной геометрией (течение влажного пара в сепараторах АЭС). Для решения такого типа задач используют либо ортогональные системы координат (цилиндрические, сферические и др.), либо регулярную сетку с заблокированными областями в декартовой системе координат. В данной работе для решения задач с комплексной геометрией применяется сетка с заблокированными областями [2].

Для примера расчета рассмотрим двумерный канал переменного сечения, стенки которого подчиняются уравнениям (рисунок 2):

$$f_1(x) = 0,18x^2,$$

$$f_2(x) = 0,1x^2 + 0,15,$$

при  $x = 0..1$  м.

Помещаем канал в сетку размерами  $L \times H = 1 \times 0,3$  м и количеством ячеек  $N_x \times N_y = 150 \times 100$ . Входную скорость принимаем  $u = 1$  м/с, т.е. число Рейнольдса на входе в канал равно  $Re_H = 150$ .

По мере удаления от входа в канал, профиль вектора скорости развивается, приобретая параболическую форму (рисунок 2). В то же время, с поворотом канала появляется вертикальная составляющая скорости и, соответственно, вектор скорости отклоняется от горизонтали.

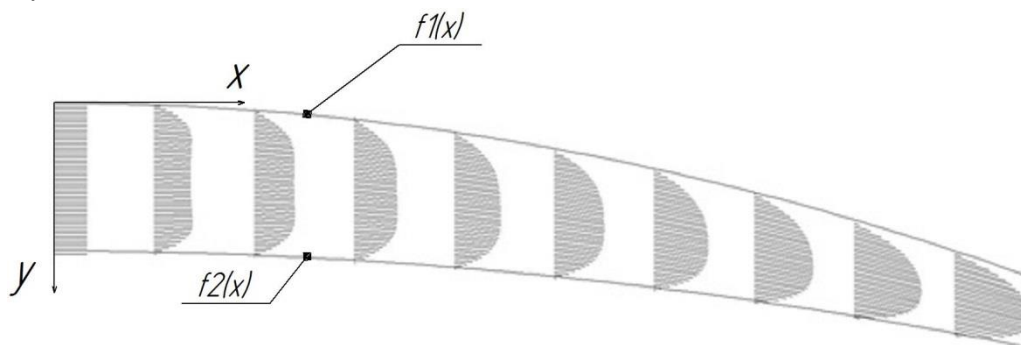


Рис. 2. Поле скорости в канале переменного сечения.

Определив поле скоростей при движении газа в канале, можно перейти к расчету движения частиц в потоке. В данной работе считаем, что при движении частица не деформируется и на нее действует только сила аэродинамического сопротивления [3]. Для расчета траектории задается начальное положение частицы и ее скорость.

Рассмотрим движение сферической частицы в потоке газа ( $Re_H = 150$ ), который движется по каналу, стенки которого задаются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= 3,5x^2, \\ f_2(x) &= 5x^2 - 0,4x + 0,06, \end{aligned}$$

при  $x = 0..0,13$  м.

Считаем, что частица на входе в канал ( $x_0 = 0, y_0 = const$  – начальные координаты) неподвижна.

На рисунке 3 представлены расчетные траектории движения капель диаметрами 100 мкм и 10 мкм для двух различных начальных координат  $y_0 = 22$  мм; 40 мм. Можно заметить, что частицы с меньшим диаметром (а значит и меньшей массой) беспрепятственно проходят канал, а частицы с большим диаметром соударяются с твердой границей канала. Разница траекторий движения определяется в основном массой частиц. Так, легкая частица быстрее разгоняется до скорости несущей среды и движется по линии тока, не соприкасаясь со стенками канала.

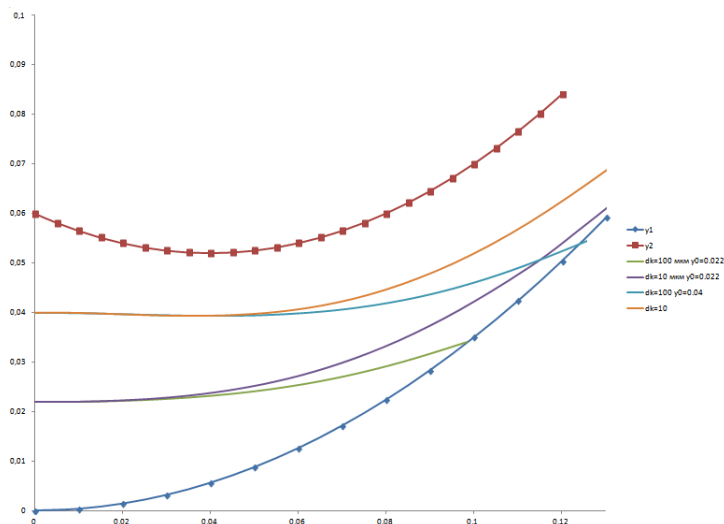


Рис. 3. Траектории движения частиц.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ (Проект ВИУ\_ЭНИН\_98\_2014)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Маргулова, Т. Х. Атомные электрические станции: учебник— 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: ИздАТ, 1994. — 296 с.
2. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: пер. с англ. / Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 150 с.: ил.
3. Дейч, М. Е. Газодинамика двухфазных сред / М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Энергоиздат, 1981. — 471 с.: ил.
4. Виноградова А.И.,Зубков В.Г. Газодинамические процессы в теплоэнергетических установках на базе метода контрольного объема // Математическое моделирование. 2002. № 6. С. 3-24.

Научный руководитель: Л.А. Беляев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.