

УДК 532.5:621.184.64

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОТОКОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

О. В. Дьмар

УП «БЕЛНИКТИММП» НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

*The design procedure of factor of local hydraulic resistance of vectorially complex streams based on the data received is developed as a result of numerical modelling current of a liquid.*

В практике конструирования теплообменных аппаратов часто встречаются элементы потоков сложной конфигурации, для которых местные гидравлические сопротивления недостаточно изучены. Для них отсутствуют справочные данные, а рекомендации по их расчету носят общий характер.

Целью настоящей работы – разработка методики расчета коэффициента местных гидравлических сопротивлений геометрически сложных потоков.

Предлагаемая методика основывается на возможностях современных программных комплексов проводить численное моделирование течения жидкости. Для наших исследований будем использовать программу FlowVision, которая в расчетах опирается на конечно-объемный метод решения уравнений гидродинамики и применяет прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением.

Таким образом, задача сводится к созданию трехмерных моделей расчетных участков с последующим обчислением параметров потока и определением искомой величины. В качестве расчетной модели выбрана модель несжимаемой жидкости, основанная на стандартной  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности, в которой присутствуют уравнения Навье-Стокса, уравнение для энтальпии, уравнение для концентрации, уравнения для  $k$  и  $\epsilon$ .

При расчете коэффициента местного сопротивления величиной, определяющей местное сопротивление, выступал перепад давления между входным и выходным сечениями:

$$\xi = \frac{2\Delta P}{\rho\omega^2},$$

где  $\Delta P$  – перепад давления между входным и выходным сечениями, Па;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – скорость жидкости перед входом в исследуемую область, м/с.

В качестве объекта исследования выбран элемент ввода жидкости через трубу в кольцевой зазор. Расчет проводился для сочленения, представляющего собой вход трубы с внутренним диаметром 35 мм в кольцевой зазор большим диаметром 105 мм и толщиной зазора 3 мм, причем оси трубы и кольцевого зазора в плане пересекаются под углом 90°. При этом обчислялись три варианта сочленения: тангенциальное, со смещением к оси кольца на 17,5 мм и со смещением на 35 мм, т.е. центральное. Для каждого варианта обчислялись два случая: вода втекает в трубу (прямо) и вода вытекает из нее (обратно). В каждом случае расчет проводился для 12 различных скоростей от 0,25 до 3,0 м/с с шагом 0,25 м/с. В качестве исследуемой жидкости принята вода с температурой 283 К.

На первом этапе исследований определялось время, необходимое для стабилизации расчетных величин (количество итераций), и шаг дискретизации по времени. Для исследования выбраны следующие величины шага дискретизации: 0,001, 0,005, 0,01, 0,05 и 0,1 с. Расчеты показали, что при различных величинах шага дискретизации времени данные сходятся к одной предельной

величине, однако характер приближения значения к предельной величине различен и зависит от скорости движения жидкости. За достижение предела принималось количество итераций до получения значения перепада давления, отличающегося от предельного значения не более чем на 1%. Предельное значение рассчитывалось как среднее после 1000 итераций для всех пяти шагов дискретизации.

Результаты расчетов для скорости жидкости 1 м/с показали, что при значении шага 0,001 с стабилизация данных наступает после порядка 300 итераций, для 0,005 с – после 45, для 0,01 с – после 25, для 0,05 с – после 140, для 0,1 с – после 240. Для скорости жидкости 3 м/с. При значении шага 0,001 с стабилизация данных наступает после порядка 90 итераций, для 0,005 с – после 60, для 0,01 с – после 105, для 0,05 с – после 520, для 0,1 с – после 950.

Таким образом, при вычислениях в дальнейшем принят единый шаг изменения времени – 0,005 с, а для расчета коэффициента местного сопротивления использовалась величина перепада давления, полученная в результате 250 итерации.

Следующим этапом является собственно вычисление коэффициента местного сопротивления по определенным величинам перепада давления.

#### Зависимость коэффициента местных сопротивлений от способа подвода, направления движения и скорости жидкости

Скорость, м/с	Подвод трубы в зазор					
	центральный		промежуточный		касательной	
	прямо	обратно	прямо	обратно	прямо	обратно
0,25	9,79	9,79	8,90	9,15	7,17	8,22
0,5	9,20	9,12	8,16	8,40	6,40	7,32
0,75	8,92	8,89	7,86	8,11	6,12	6,97
1,0	8,76	8,70	7,68	7,88	5,92	6,76
1,25	8,67	8,56	7,55	7,76	5,80	6,59
1,5	8,60	8,47	7,46	7,64	5,70	6,50
1,75	8,49	8,36	7,38	7,51	5,62	6,40
2,0	8,45	8,35	7,35	7,50	5,55	6,33
2,25	8,38	8,26	7,27	7,43	5,49	6,26
2,5	8,35	8,22	7,20	7,36	5,44	6,20
2,75	8,33	8,20	7,17	7,33	5,40	6,14
3,0	8,31	8,16	7,16	7,27	5,38	6,10
Среднее	8,69	8,59	7,59	7,78	5,83	6,76

Из полученных данных видно, что для всех опытов характерно снижение коэффициента местных сопротивлений с увеличением скорости движения жидкости, причем его изменение сильнее при смещении подводящей трубы от центрального положения к касательному.

Анализ полученной графической информации (рис. 1–3) показывает, что для всех вариантов присоединений при обратном токе в зоне примыкания отводящего патрубка к кольцевому зазору образуется устойчивый вихрь с реверсивным током жидкости по стенке патрубка, который существенно уменьшает проходное сечение патрубка, чем вызывает повышение сопротивления.

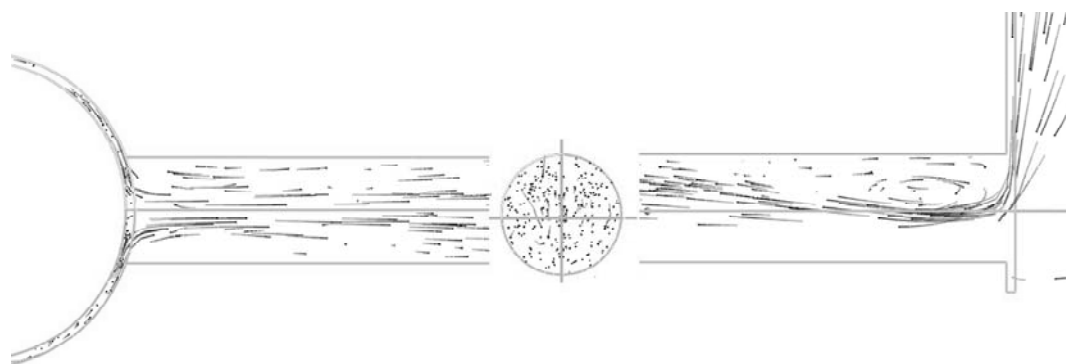


Рис. 1. Характер течения жидкости при истечении жидкости из кольцевого зазора в патрубок при центральном присоединении

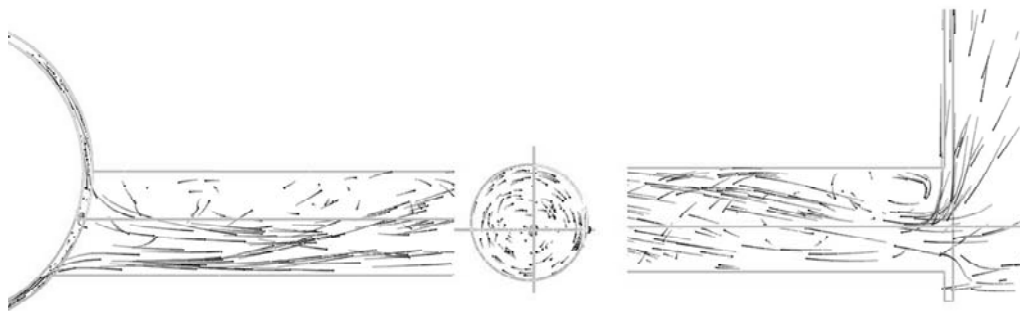


Рис. 2. Характер течения жидкости при истечении жидкости из кольцевого зазора в патрубок при промежуточном присоединении

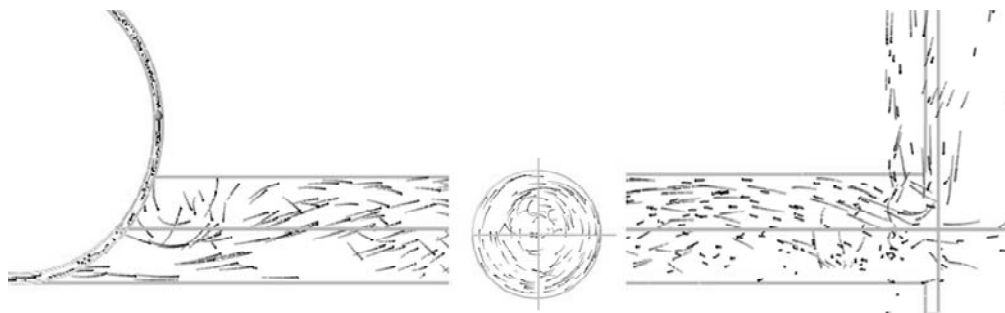


Рис. 3. Характер течения жидкости при истечении жидкости из кольцевого зазора в патрубок при касательном присоединении

Отмечено, что при центральном положении патрубка значения исследуемой величины при прямом и обратном токе практически равны, однако при смещении от него патрубка эти величины начинают существенно различаться, сопротивление при вытекании из зазора становится больше, причем разница достигает 12–13% для касательного присоединения. Это можно объяснить возникновением при перетоке из кольцевого зазора в патрубок, смещенный из центрального положения, устойчивого вращательного движения исходящего потока, обусловленного несимметричностью элемента.

### Выводы

1. Разработанная методика расчета коэффициента местных гидравлических сопротивлений геометрически сложных потоков, основанная на данных, полученных в результате численного моделирования течения жидкости, показала, что при расчете коэффициента местных сопротивлений необходимо учитывать скорость жидкости, направление и характер геометрии потоков.
2. Подтверждено, что при входе жидкости в кольцевой зазор из трубы, если она не находится в центральном положении, в зазоре образуется устойчивый спиральный ток жидкости.
3. Выявлено, что при выходе жидкости из зазора в патрубок в последнем образуется устойчивый вихрь с обратным током жидкости по стенке, причем он существенно сужает живое сечение. В случае, если труба имеет присоединение отличное от центрального, то в ней наблюдается неочевидное явление закрутки исходящего потока вокруг ее оси.