

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТРУБАХ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

АННОТАЦИЯ

В работе представлены экспериментальные данные по потерям давления в трубе с закруткой потока, осуществлявшейся скрученными лентами с разными шагами закрутки. В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости коэффициента трения от числа Re в трубе при различной закрутке потока. Для расчета коэффициента трения ξ рекомендована формула Филоненко для обычных труб с учетом действительной скорости потока.

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе проводилось экспериментальное исследование гидродинамики в закрученном потоке воды в трубе, созданном винтовыми лентами с коэффициентами закрутки $y = \infty$ (прямая лента), 6,38, 4,0, 2,38, 1,75 в широком диапазоне массовых расходов $G = 0,05 \div 0,50$ кг/с. Для сравнительного анализа опытных данных по гидравлическим потерям использовались результаты, полученные на этой же трубе без ленты. Опыты по определению потерь давления в закрученном потоке предваряли основные исследования, связанные с изучением особенностей теплообмена в недогретом закрученном потоке.

Известно достаточно большое количество формул разных авторов, описывающих трение в трубах со скрученными лентами [1]. На рис. 1 приведено сравнение зависимостей относительного коэффициента трения [1]. Как видно, разброс значений коэффициента трения при одних и тех же Re достигает 20% и более. Такая точность определения коэффициента трения является недопустимой при проведении расчетов теплообмена в однофазном турбулентном потоке.

2. ОПИСАНИЕ РАБОЧЕГО УЧАСТКА

Рабочий участок [2] представлял собой цилиндрическую трубу длиной $l = 228$ мм, диаметром $d = 8$ мм с вставленной на всю длину трубы винтовой лентой из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм. Подвод и отвод воды производится по цилиндрическим трубам, имеющим диаметр 16 мм. Параметры течения изменялись следующим образом: при постоянном давлении на входе изменялся массовый расход теплоносителя через рабочий участок. Измерение давления производилось с помощью датчиков типа «Сапфир-22Ех», измерение массового расхода – индукционным датчиком МР 400-К. Датчики предварительно специально тарировались, перед каждой серией опытов проводилась регули-

ровка нулевых значений. Погрешность измерения давления составляла 1%, а погрешность измерения массового расхода – 1,5%. Схема рабочего участка приведена в [2].

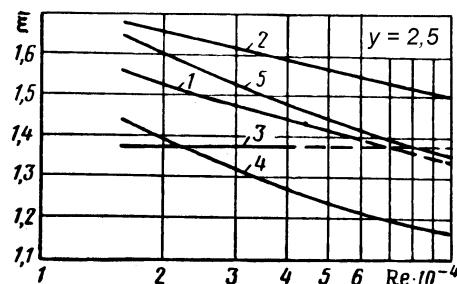


Рис. 1. Сравнение зависимостей относительного коэффициента трения $\xi(Re)$, рассчитанных по формулам: 1 – Шукина; 2 – Смитберга и Лэндиса; 3 – Ибрагимова, Новофилова, Субботина; 4 и 5 – Гэмбилла и Банди

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБРАБОТКА

Были получены опытные данные по потерям давления в адиабатных условиях в зависимости от массового расхода воды. Температура воды на входе поддерживалась постоянной $T_{ж} \approx 20^\circ\text{C}$. Измеренный перепад давлений $\Delta p_{пол}$ на рабочем участке включал потери на местных сопротивлениях.

После учета местных сопротивлений согласно рекомендациям [3] получены потери давления непосредственно на трубе, содержащей скрученную ленту:

$$\Delta p_{тр} = \Delta p_{пол} - \Delta p_{мест}. \quad (1)$$

На рис. 2 представлена зависимость $\Delta p_{тр}(G)$, на которую нанесена соответствующая кривая для гладкой трубы без вставки, рассчитанная с использованием формулы Филоненко для коэффициента гидравлического сопротивления:

$$\xi = (1,82 \lg Re - 1,64)^{-2}. \quad (2)$$

Совпадение экспериментальных данных по потерям давления в трубе без ленты с рассчитанными потерями давления по формуле (2) говорит о надежности и корректности полученных экспериментальных данных.

Данные по потерям давления для коэффициентов закрутки $y = 4,0$ и $y = 6,38$ совпадают в пределах погрешности измерений. Это означает, что при коэффициенте закрутки $y \geq 4$ гидравлическое сопротивление канала практически не зависит от шага закрутки в наших условиях.

Экспериментальные значения коэффициента гидравлического сопротивления рассчитываются по соотношению

$$\xi = \frac{2\Delta p_{\text{тр}} d_{\Gamma}}{\rho w^2 l}, \quad (3)$$

где $\Delta p_{\text{тр}}$ – потери давления на трубе с закруткой потока, Па; w – скорость воды на входе в трубу с закруткой потока, м/с; d_{Γ} – эквивалентный диаметр канала, м.

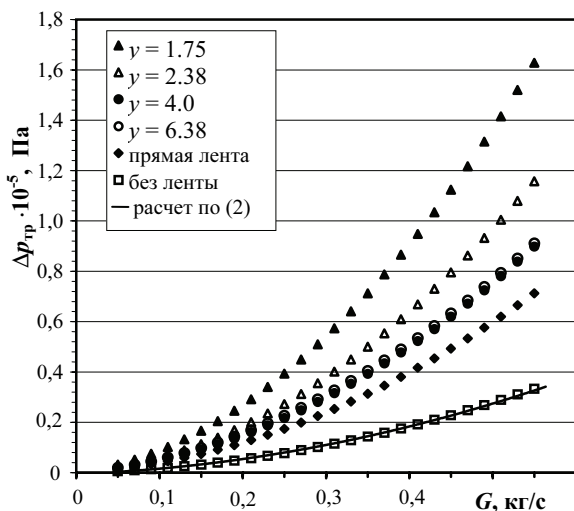


Рис. 2. Потери давления в трубе, содержащей скрученную ленту, в зависимости от массового расхода для разных коэффициентов закрутки

В [4] для определения коэффициента трения предлагается проводить осреднение скорости по периметру винтового канала и определять характерную длину канала. Как показали расчеты, использование поправок в форме [4] приводит к расслоению экспериментальных данных по коэффициентам закрутки и требует дополнительного уточнения. Коэффициенты давления в основном определяются трением на поверхности канала, за действительную скорость потока, которая используется в (3), примем скорость вблизи поверхности трубы:

$$w^* = w \sqrt{1 + (\pi/2y)^2}. \quad (4)$$

В этом случае длина винтового канала вводится в виде

$$l^* = l \sqrt{1 + (\pi/2y)^2}. \quad (5)$$

После подстановки (4) и (5) в (3) формула для расчета коэффициента гидравлического сопротивления принимает вид

$$\xi = \frac{2\Delta p_{\text{тр}} d_{\Gamma}}{\rho w^2 l} \left(1 + \left(\frac{\pi}{2y} \right)^2 \right)^{-3/2}. \quad (6)$$

Зависимость экспериментальных значений коэффициента гидравлического сопротивления $\xi(\text{Re})$ представлена на рис. 3. Как видно из графиков, коэффициенты гидравлического сопротивления для каналов без ленты и с вставленной лентой для всех шагов закрутки надежно обобщаются хорошо известными формулами для труб.

вестными формулами для труб.

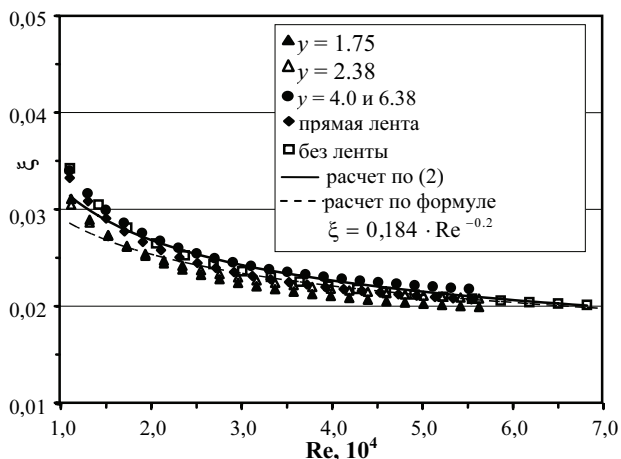


Рис. 3. Коэффициент гидравлического сопротивления в зависимости от Re для разных коэффициентов закрутки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки экспериментальных данных для определения коэффициента гидравлического сопротивления в канале с непрерывной закруткой потока рекомендована формула Филоненко с учетом действительной скорости потока.

Работа выполнена при поддержке Роснауки: гос. контракт № 02.442.11.7466 и гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ РФ НШ-7763.2006.8.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- d — диаметр канала, м;
- d_{Γ} — эквивалентный диаметр канала, м;
- G — массовый расход, кг/с;
- l — длина рабочего участка, м;
- $\Delta p_{\text{мест}}$ — потери давления на местных сопротивлениях, Па;
- $\Delta p_{\text{пол}}$ — измеренный перепад давления на рабочем участке, Па;
- $\Delta p_{\text{тр}}$ — потери давления на трение в трубе, Па;
- Re — число Рейнольдса;
- $T_{\text{ж}}$ — температура жидкости на входе, °С;
- y — коэффициент закрутки;
- w — осевая скорость воды, м/с;
- ξ — коэффициент трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щукин В.К.** Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1970.
2. **О влиянии закрутки потока на гидродинамику и теплообмен при одностороннем нагреве** / А.Н. Варава, А.В. Дедов, А.Т. Комов и др. // Тез. докл. Второй Росс. конф. «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках», Москва, МЭИ (ТУ), 15-17 марта 2005. С. 103-104.
3. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.
4. **Мигай В.К.** Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980.