

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Радиофизический факультет

Кафедра общей физики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕЧЕНИЯ
ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ПО ТРУБЕ
ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Описание к лабораторной работе

Бесплатно

ГОРЬКИЙ 1989

Изучение законов течения вязкой жидкости
по трубе переменного сечения

Док. работа. ПГУ. Горький 1989, 7 стр.

В работе исследуется распределение давления жидкости

вдоль трубы переменного сечения. По результатам опытных данных определяется вязкость воды; число Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного течения к турбулентному; скорость течения воды по показанным трубке Лито. Кроме того имеется возможность для качественного изучения отклонения от формулы Бернулли, вызванного вязкостью жидкости и турбулентностью течения.

Составители: Зайцев С.И., Краснов В.А.

Редактор: Вирагов С.В.

Рецензент: к.ф.-м.н. Щемелев Е.Г.

В настоящей работе исследуется течение жидкости по трубе, т.е. зависимость распределения давления жидкости от скорости течения. На основании опытных данных определяется вязкость воды, а также число Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного течения к турбулентному. Кроме того, качественно изучается отклонение от формулы Бернулли, вызванное вязкостью жидкости и турбулентностью течения.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Различают два вида движения жидкости - ламинарное и турбулентное. При ламинарном течении слои жидкости скользят друг по другу, не перемешиваясь.

При увеличении скорости или поперечных размеров потока характер течения существенно образом меняется. Возникает энергичное перемежающееся течение и такое течение называется турбулентным. Английский ученый Рейнольдс установил, что характер течения зависит от безразмерной величины:

$$Re = \frac{\rho U R}{\eta}, \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, U - скорость потока, η - коэффициент вязкости жидкости, R - поперечный размер потока. При малых значениях числа Рейнольдса наблюдается ламинарное течение. Для трубок круглого сечения течение жидкости оказывается ламинарным при $Re < 1000$, а при больших числах Рейнольдса приобретает турбулентный характер.

Если скорость жидкости U в каждой точке пространства (x, y, z) не изменяется со временем и зависит лишь от координат

$$\vec{v} = v(x, y, z), \quad (2)$$

то течение называется стационарным

Для стационарного течения несжимаемой идеальной жидкости, т.е. жидкости, в которой внутреннее трение (вязкость) отсутствует, вдоль одной и той же линии тока справедлива теорема Бернулли

$$p + \rho g h + \frac{\rho U^2}{2} = const, \quad (3)$$

где P - давление жидкости, h - высота точек линии тока над нулевым уровнем.

Для горизонтальной линии тока жидкости ($h = const$) выражение (3) принимает вид:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + P_2 \quad (4)$$

Рассмотрим теперь стационарный поток вязкой жидкости в трубе, поскольку всем реальным жидкостям в большей или меньшей степени присуще внутреннее трение. Величину скорости течения частицы в каждом поперечном сечении трубы можно полагать только функцией расстояния данной частицы от оси трубы, а элемент скорости есть $d\vec{v}/dz$

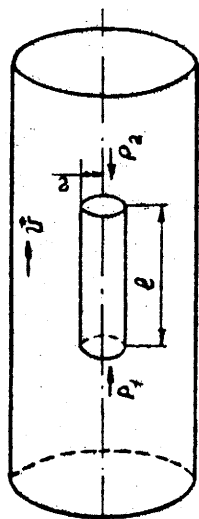


Рис. I

Выделим из объема текущей жидкости цилиндр радиуса "r", длиной l . С внешней стороны на единицу поверхности цилиндра действует сила вязкости $F = \eta \frac{dv}{dz}$, где η - коэффициент вязкости. На всю поверхность цилиндра действует сила

$$F = 2\pi r l \eta \frac{dv}{dz}$$

Так как жидкость движется равномерно, то сумма всех сил, приложенных к выделенному цилиндру, равна нулю. То есть сила вязкости F должна уравновешивать разность в сил давления P_1 и P_2 на торцах цилиндра.

Следовательно:

$$2\pi r l \eta \frac{dv}{dz} + (P_1 - P_2) \pi r^2 = 0,$$

откуда $dv = - \frac{P_1 - P_2}{2\eta l} dz$, интегрируя, получаем:

$$v = - \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} z^2 + C,$$

но у стенок трубы ($z = R$) частицы жидкости прилипают, т.е. $v = 0$. Отсюда $C = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} R^2$, тогда для "v" окончательно:

$$v = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} (R^2 - z^2) \quad (5)$$

Зная распределение скорости, можно подсчитать объемный расход жидкости Q через поперечное сечение трубы. Разобьем сечение трубы на тонкие кольца радиусом z и ширины dz . Через площадь

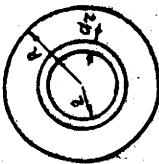


Рис. 2

такого кольца $2\pi z dz$ протекает за единицу времени объем $dQ = 2\pi z dz v(z)$ протекает объем жидкости:

$$Q = \int_0^R 2\pi z v(z) dz = \frac{\pi(P_1 - P_2)}{2\eta l} \int_0^R (R^2 - z^2) 2z dz = \frac{P_1 - P_2}{l} \frac{\pi R^4}{8\eta} \quad (6)$$

Эта формула была получена Гагеном в 1839 году и Пуазейлем в 1940 году.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

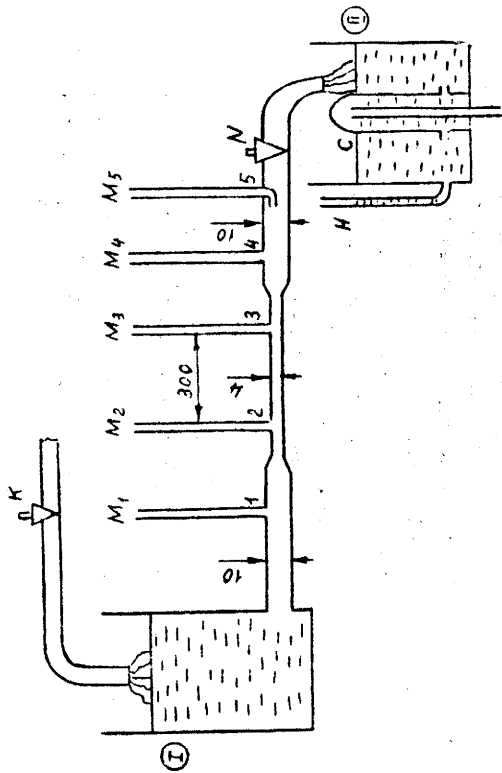
Бак (1), в котором необходимый уровень воды поддерживается регулируемой водопроводной крана "К", соединен с горизонтальной трубкой "С" переменного сечения (см. рис. 3). Выливающаяся из трубки "С" вода попадает в приемный бак (II), в дно которого смонтирован сифон С. В сечениях трубы (I-5) сделаны вводы к трубкам водяного манометра (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5). Высота поднятия воды (в см) в трубках манометра определяет давления в соответствующих сечениях. Манометр M_5 представляет из себя изогнутую трубку с входным отверстием, образующим навстречу потоку. Такую трубку называют трубкой Пито.

Трубка Пито M_5 измеряет полный напор жидкости

$$P_0 = P + \frac{\rho U^2}{2},$$

где P - давление жидкости, а величина $\frac{\rho U^2}{2}$ называется динамическим напором жидкости. Зная показания манометров M_4 и M_5 , можно определить скорость течения жидкости в сечении S_5 . Для правильного определения скорости желательно, чтобы эти манометры находились как можно ближе друг к другу.

Количество жидкости Q , протекающее в единицу времени по трубе "С" при данном уровне воды в баке (I), определяется по скорости наполнения некоторого объема V в баке (II). Бак (II) снабжен водомерными метками и манометрической трубкой N объемом жидкости между двумя метками бака соответствует 500 см^3 . Изменение высоты столба жидкости в манометрической трубке (H_3) на 8 мм, равно изменению объема жидкости в баке на 250 см^3 . Скорость потока жидкости регулируется уровнем воды в баке (I) и краном "N" в конце трубы "С".



ЗАДАНИЕ

1. Измерить для разных скоростей потока воды давления в сечениях S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 , а также время "t" заполнения некоторого объема в баке (II). Перед началом измерений следует убедиться, что уровень воды в баке (I) держится достаточно стабильно ($\approx 50 \text{ см}$ по водомерной трубке). Скорость потока воды в трубке "С" задается краном M .

Для того, чтобы уверенно перекрыть переходную область от ламинарного течения к турбулентному и получить экспериментальные точки как в ламинарном, так и в турбулентном режимах, в эксперименте разность давлений в трубках M_2 и M_3 должна пройти значения хотя бы от 0,5 до 4,5 см.

2. По показаниям трубки Пито (M_5) и манометрической трубки (M_4) определить скорость течения воды в сечении S_5 . Сравнить результат с величиной, полученной по скорости наполнения объема V в баке (II).

Примечание: Точность данной установки не позволяет определять скорость течения воды по показаниям трубки Пито в области ламинарного течения ($\Delta h = 1 \text{ мм}$).

3. Используя уравнение Бернулли, выяснить, в каких сечениях можно получить давление ниже атмосферного. Проверьте свои выводы экспериментально.

4. По полученным данным найти разность давлений в сечениях S_1 и S_2 и S_3 и S_4 . Построить график ΔP от Q и сравнить его с теоретической зависимостью, полученной из уравнения Бернулли.

5. По полученным данным найти разность давлений ΔP_{23} на участке трубы "С" постоянного сечения. Построить график зависимости ΔP_{23} от Q . По виду графика определить, до каких значений Q течение можно считать ламинарным (использовать выражение (6)). Определить вязкость воды. Найти из экспериментальных данных число Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного течения к турбулентному.

Таблица I.

N	$h_1(\text{см})$	$h_2(\text{см})$	$h_3(\text{см})$	$h_4(\text{см})$	$h_5(\text{см})$	$t(\text{с})$	$V(\text{см}^3)$
1							
2							