

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 13.03.2023 10:45:42
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра теплогазоснабжения



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Методические рекомендации по выполнению
лабораторной работы для студентов специальности 08.05.01 и направлений
08.03.01, 15.03.01, 15.03.06, 23.23.23

УДК 532 (075.8)

Составители: В.А.Незнанова, В.Г.Полищук, А.И.Поздняков

Рецензент

Кандидат технических наук, В.А.Морозов

Определение режима течения жидкости в горизонтальной трубе: методические рекомендации по выполнению лабораторной работы/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.А.Незнанова, В.Г.Полищук, А.И.Поздняков.-Курск, 2016.-11с.: ил.4, табл.1.-Библиогр.: 9с.

Излагаются основные сведения о режимах течения жидкости в цилиндрической трубе, описание демонстрационной установки, инструментарий для объёмного способа измерения расхода и средней скорости.

Предназначены для студентов специальности 08.05.01 и направлений 08.03.01, 15.03.01, 15.03.06, 23.23.23 дневной и заочной форм обучения, изучающих дисциплины «Механика жидкости и газа», «Гидравлика», «Гидравлика и гидропневмопривод».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать. Формат 60x84 1/16.
Усл.-печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель работы:

- экспериментальное исследование режима течения жидкости в горизонтальной трубе, установленной на гидростенде ГС-3;
- визуальное наблюдение за сменой режимов течения;
- определение критерия гидродинамического подобия и сравнение его с критическим значением.

Общие сведения

При течении жидкости в потоке действуют сила вязкого трения (Т) и сила инерции потока (F).

Сила вязкого трения определяется законом Ньютона-Петрова

$$T = \mu s \left| \frac{du}{dr} \right|, \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость, Па·с;

s – площадь трения соседних слоёв, м²;

du/dr – градиент скорости в поперечном направлении потока, с⁻¹.

Сила инерции потока

$$F = am, \quad (2)$$

где a – ускорение, м/с²;

m – масса рассматриваемого объёма жидкости, кг.

Английский физик О.Рейнольдс опытным путем доказал и теоретически обосновал наличие двух режимов движения жидкости, получивших названия «ламинарный» и «турбулентный». Наличие того или иного режима определяется средней скоростью v потока, характерным линейным размером L сечения потока и кинематической вязкостью ν жидкости. Параметр, определяющий режим движения потока, определяется отношением сил (1) и (2), действующих в потоке, и получивший в дальнейшем название число Рейнольдса (Re)

$$Re = \frac{F}{T} = \frac{am}{\mu s \left| \frac{du}{dr} \right|} \sim \frac{(v/t)\rho w}{\mu s(v/r)} \sim \frac{(v/t)L^3}{(\mu/\rho)L^2(v/L)} \sim \frac{vL}{\nu}, \quad (3)$$

где $\nu = \mu/\rho$ – кинематическая вязкость, м²/с;

v – средняя скорость потока, м/с;

L – линейный размер потока, м.

В качестве линейного размера используют диаметр трубы или гидравлический радиус R_r . Гидравлический радиус чаще всего используют в случаях русел некруглой формы. В общем случае гидравлический радиус является отношением площади поперечного сечения потока к длине смоченного периметра этого сечения. По смоченному периметру сечения поток жидкость соприкасается с твердыми стенками русла.

Таким образом, для любого потока

$$Re = vR_f / \nu. \quad (4)$$

Число Рейнольдса является критерием гидродинамического подобия потоков, находящихся под действием сил вязкого трения.

Режимы течения жидкостей получили названия «ламинарный» (от латинского «ламина» – слой, пластина) и «турбулентный» (от латинского «турбо» – вихрь). Смена режимов течения происходит при критических значениях числа Рейнольдса $Re_{кр} = 580$.

Смена режимов наблюдается при критической скорости $v_{кр} = Re_{кр} \cdot \nu / R_f$, соответствующей критическому значению числа Рейнольдса. Если $Re < Re_{кр}$ – режим ламинарный; при $Re > Re_{кр}$ – режим турбулентный. Такая рекомендация подтверждается многочисленными данными многих исследователей.

Вместе с тем, установлено, что смена режимов возможна и при более низких или высоких значениях числа Рейнольдса. В отдельных случаях смена режимов наблюдалась и при $Re \approx 100000$ (полированные трубы, термokonстантные условия, виброзащита установки и др.).

Кроме того, смена режимов зависит от порядка их формирования. Если развивать турбулентный режим из ламинарного, например, постепенно увеличивая скорость потока, то критическое значение Re будет превышать, примерно, в пять раз критическое значение Re для случая формирования ламинарного потока из турбулентного. Это объясняется свойством потока “по инерции” сохранять предшествующее состояние.

В ламинарном потоке силы трения стабилизируют течение, подавляя возмущения, вихри. В результате наблюдается течение слоистое, упорядоченное, без перемешивания жидкости.

В турбулентном потоке вследствие образования вихревых течений жидкость неупорядоченно перемешивается.

Теоретический анализ позволил выявить параболический профиль эпюры скоростей по сечению ламинарного потока в круглой цилиндрической трубе (рис.1), а также соответствующую аналитическую зависимость

$$u/u_{max} = 1 - r^2/R^2, \quad (5)$$

где u_{max} – наибольшая скорость на оси потока;

r – радиальная координата рассматриваемого слоя ($0 \leq r \leq R$);

R – внутренний радиус трубы.

Жидкость прилипает к внутренней поверхности трубы ($v=0$ при $r=R$), а средняя скорость v равна половине наибольшей на оси потока ($v=0,5u_{max}$).

Многочисленные экспериментальные данные подтверждают приведенные аналитические соотношения для ламинарного потока.

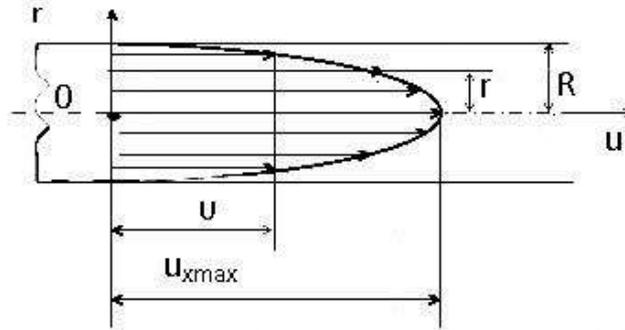


Рис.1 Профиль скоростей по сечению напорного потока в круглой цилиндрической трубе при ламинарном режиме течения

В каждой точке турбулентного потока продольная скорость пульсирует – случайным образом изменяется во времени, так что $u = u(t)$.

Мгновенное значение скорости продольного течения в фиксированной точке турбулентного потока можно представить следующим образом:

$$u(t) = \bar{u} + u',$$

где \bar{u} – осредненная скорость течения в продольном направлении;

u' - пульсация скорости продольного течения.

Осредненная скорость – это средняя арифметическая величина из мгновенных значений скорости за базовый промежуток времени T :

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Наряду с пульсациями u' продольной скорости в турбулентном потоке существуют и поперечные перемещения частиц жидкости. Скорости поперечных перемещений также имеют свои пульсации u'_r .

Указанные особенности значительно усложняют анализ турбулентного течения, а отсутствие стройной теории вызывает необходимость использования различных гипотез. Наиболее распространенная из них – гипотеза Л.Прандтля о длине пути смешения, которая позволяет касательные напряжения силы гидравлического трения представить в виде

$$\tau_T = \rho \ell^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dr} \right| \frac{d\bar{u}}{dr}.$$

Здесь ℓ - длина пути смешения, т.е. расстояние в поперечном направлении потока, на котором частица жидкости сохраняет своё количество движения до попадания в слой с иным значением скорости, а следовательно, и другим количеством движения. Изменения количества движения у частиц жидкости и вызывают напряжения τ_T силы инерционного трения, которые значительно превышают напряжения силы вязкого трения. С учетом наличия в турбулентном потоке пристенного ламинарного слоя напряжения силы гидродинамического трения определяют суммированием указанных напряжений:

$$\tau = \mu \left(du / dr \right) + \tau_T .$$

Принципиально важным является и то, что турбулентное движение всегда является неустановившимся.

При использовании гипотезы Прандтля исследователями получены полуэмпирические формулы распределения по сечению турбулентного потока осредненных скоростей, в частности закон «одной седьмой»

$$\mu / \mu_{\max} = (1 - r / R)^{1/7} .$$

Профиль осредненных скоростей по сечению напорного турбулентного потока в круглой цилиндрической трубе представлен на рис.2.

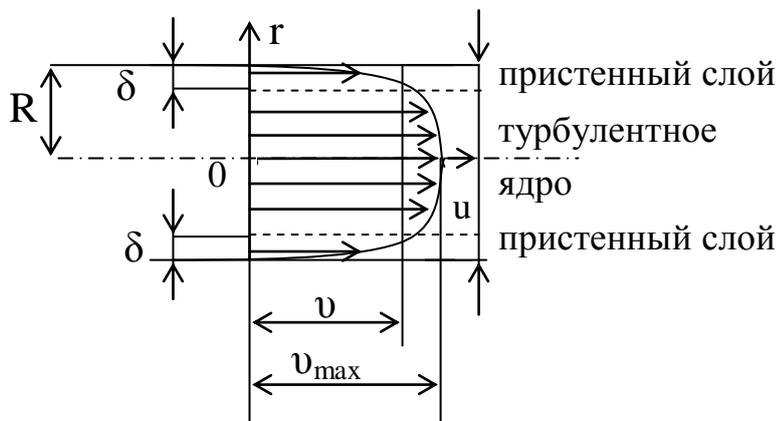


Рис.2 Профиль осредненных скоростей по сечению турбулентного потока в круглой цилиндрической трубе

Несмотря на наличие мощных вихревых областей (турбулентного ядра потока), вблизи стенки существует ламинарный слой, толщина которого δ уменьшается с развитием турбулентности ($\delta \sim Re^{-1}$), а градиент скорости в поперечном направлении потока резко увеличивается.

В отличие от ламинарного потока величина средней скорости в поперечном сечении турбулентного потока не является постоянной, а изменяется в пределах $v = (0,7 \div 0,9) u_{\max}$ и с развитием турбулентности ($Re \rightarrow \infty$) приближается к максимальной ($v \rightarrow u_{\max}$).

В инженерной практике для напорных потоков в круглых цилиндрических трубах в качестве характерного линейного размера применяют не гидравлический радиус, а внутренний диаметр трубы d . Нетрудно подсчитать, что в этом случае

$$R_r = \pi R^2 / (2\pi R) = R/2 = d/4,$$

а число Рейнольдса $Re = vd/\nu$ оказывается в 4 раза большим, следовательно, и критическое значение числа Рейнольдса $Re_{кр} = 4 \cdot 580 = 2320$.

Описание установки

Схема лабораторной установки представлена на рис.3. Установленный на стойке 4 буферный бак 2 выполнен в виде сферы и обеспечивает установившийся поток воды в рабочем участке 12. Рабочий участок установлен над лотком 9 и крепится к выходному патрубку 3 с помощью уплотнения. Другой конец рабочего участка укрепляется в патрубке 11.

В напорную магистраль вода поступает от насоса 6 при открытии вентиля 5. В процессе эксперимента расход воды регулируется вентилями 5 и 10. Насос 6 подает воду из бака 7 в буферный бак. В верхней части бака 7 крепится мерный бачок 8, ёмкость которого 3600 см^3 . В днище мерного бачка установлен клапан, управляемый рычажным механизмом. При закрытии клапана включается электросекундомер, расположенный на панели установки. После наполнения мерного бака осуществляется остановка секундомера. Избыточное давление в буферном баке контролируется образцовым манометром 1.

Техническая характеристика установки:
 напряжение питания насоса - 220 В; частота – 50 Гц; максимальный секундный расход воды – 1 л/с;
 регулируемый напор $H=0 \div 10$ м вод.ст..

Рабочий участок стенда представляет собой стеклянную трубку с внутренним диаметром $d=2,1$ см и длиной ~ 100 см.

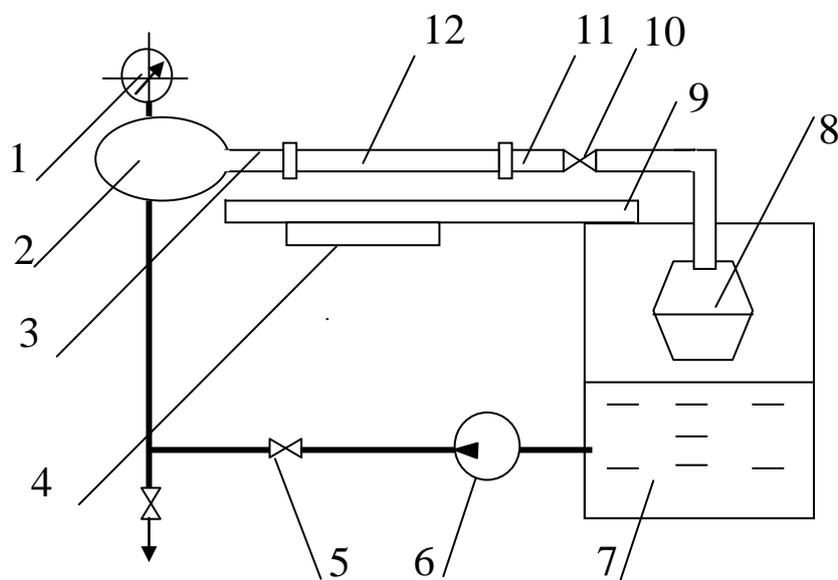


Рис.3 Схема лабораторной установки ГС-3

Порядок проведения эксперимента

На вход трубки с помощью шприца подаётся подкрашенная жидкость (индикатор). Это позволяет визуально наблюдать ламинарное течение, когда струйки индикатора не перемешиваются с основным потоком воды, а при увеличении расхода воды - наблюдать переход от ламинарного режима к турбулентному. Дальнейшее увеличение расхода воды приводит к тому, что окрашенная струйка (индикатор) размывается вследствие перемешивания потока воды и поток в стеклянной трубке становится окрашенным.

Наряду с визуальным наблюдением используется и расчетный метод.

С помощью секундомера при работающем насосе и фиксированном положении вентиля 10 измеряется продолжительность наполнения мерного бака. Расход воды Q определяется отношением объёма мерного бака w к продолжительности его наполнения t . Средняя скорость потока вычисляется как отношение расхода к площади поперечного сечения потока в стеклянной трубке: $v=Q/(\pi d^2/4)$. Измерив с помощью термометра температуру воды, по графику (рис.4) можно определить значение кинематической вязкости и вычислить число Рейнольдса.

Сравнив полученное значение числа Рейнольдса с его критическим значениям, следует сделать вывод о режиме течения. С помощью вентиля 10 можно регулировать расход и скорость потока, что позволяет получить другие значения числа Re .

Внимание: пуск и остановка насоса производится при полностью закрытом вентиле 5.

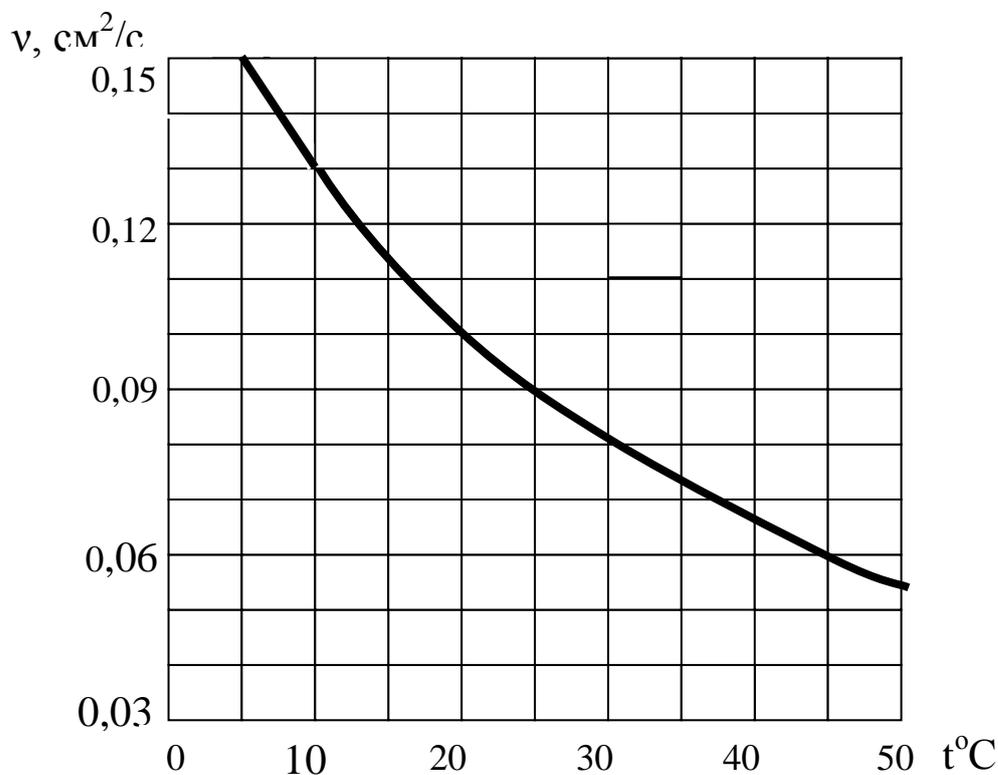


Рис.4 Зависимость кинематической вязко-

Полученные результаты оформляются в виде таблицы.

Таблица Определение режима течения

Измерения		Вычисления					Наблюдения	Выводы
Продолжительность заполнения бака t , с	Температура воды T , °C	Вязкость ν , $\text{см}^2/\text{с}$	Площадь сечения потока, см^2	Расход Q , $\text{см}^3/\text{с}$	Скорость потока v , $\text{см}/\text{с}$	Число Re	Описание характера течения	Режим течения

Вопросы для самоподготовки

1. Каковы особенности ламинарного течения жидкости?
2. Каковы особенности турбулентного течения жидкости?
3. Каков физический смысл числа Рейнольдса, как с его помощью определяется режим течения?
4. Изобразить профили скоростей по сечению круглой цилиндрической трубы для ламинарного и турбулентного напорных потоков, каковы их отличия?
5. Как определяется число Re при проведении эксперимента?

Библиографический список

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости) [Текст] : учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. - Изд. 6-е, репринтное. - Москва : Бастет, 2013. - 672 с.
2. Лапшев, Н. Н. Гидравлика [Текст] : учебник / Н. Н. Лапшев. - 3-е изд., стер. - М. : Академия, 2010. - 272 с.
2. Метревели В.Н. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями: учебное пособие/-М.: Высшая школа, 2007 г.- 192с.
3. Алымов, Ю. Г. Гидравлика [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Ю. Г. Алымов, В. А. Морозов ; Минобрнауки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Юго-Западный государственный университет". - Курск : ЮЗГУ, 2013. - 98 с.
4. Беленков, Ю. А. Гидравлика и гидропневмопривод [Текст] : учебник / Ю. А. Беленков, А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин. - Москва : Бас-тет, 2013. - 406 с.
5. Ионин, А. А. Газоснабжение [Текст] : учебник / А. А. Ионин. - Изд 5-е., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 448 с.