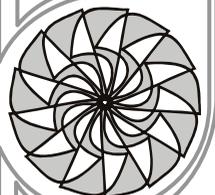


Министерство образования и науки Российской Федерации

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Набережночелнинский институт



Кафедра
высокоэнергетических процессов и агрегатов

Исследование режимов движения жидкости
в цилиндрической трубе

Методические указания

*к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Водоснабжение и водоотведение» для студентов по
направлению подготовки 08.03.01 «Строительство
(Промышленное и гражданское строительство)»*

Набережные Челны – 2018

УДК 628

Исследование режимов движения жидкости в цилиндрической трубе:
Учебно-методическое пособие по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство (Промышленное и гражданское строительство)» / Составители: И.М. Арсланов, М.Л. Хазиев - Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2018 – 9 с.

Ил.: 2. Таб.:1. Прил.: 0. Библиогр.: 3 наим.

Рецензент: к.т.н., доцент Ахметшин Р.С.

Печатается в соответствии с решением учебно-методической комиссии отделения информационных технологий и энергетических систем Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» №41 от «30» апреля 2018г.

© Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2018г

Лабораторная работа

Исследование режимов движения жидкости в цилиндрической трубе.

Цель работы:

1. Установление опытным путем наличия двух режимов движения жидкости.
2. Определение по опытным данным значений чисел Рейнольдса при ламинарном и турбулентном режимах движения.
3. Определение моментов смены режимов движения и подсчет значения критического числа Рейнольдса.

Теоретические основы.

В природе возможны два режима движения жидкости, различающиеся по характеру поведения отдельных частиц.

В одном случае частица жидкости, двигаясь, например, в трубопроводе, остается в том же слое, в котором она находилась в начальном сечении. Движение характеризуется ярко выраженной упорядоченной слоистостью параллельно направлению течения без перемешивания частиц. Такой слоистый режим движения жидкости называется ламинарным.

В другом случае движение отдельных частиц происходит по сложным траекториям, имеющим пространственную форму, что приводит к интенсивному перемешиванию жидкости и хаотическому, неупорядоченному ее течению. Режим движения жидкости с перемешиванием частиц называется турбулентным. При турбулентном режиме происходят пульсации скорости и давления в данной точке потока жидкости.

Между ламинарным и турбулентным режимом находится область переходного режима. В этой области движение неустойчиво и может принимать как ламинарный, так и турбулентный характер.

Ламинарный режим имеет место при движении по трубам жидкостей повышенной вязкости (нефть, смазочные масла и др.), в слое смазки в подшипниках или при движении воды с небольшими скоростями в трубах малых диаметров (капиллярах), в порах грунта и т.д.

Турбулентный режим наблюдается в водопроводе, а также при движении по трубам бензина, керосина и других маловязких жидкостей; воды в естественных руслах и каналах и т.д.

Различный характер движения жидкостей при ламинарном и турбулентном режимах приводит и к разным законам сопротивления движению и, следовательно, к неодинаковым потерям энергии (напора). При турбулентном режиме, вследствие перемешивания и соударения частиц, эти потери больше, чем при ламинарном. Так, если потери напора в ламинарном потоке пропорциональны первой степени средней скорости, то в турбулентном потоке эти потери могут быть пропорциональны квадрату скорости. В связи с существенным различием величины потерь напора установление характера движения жидкости является важной задачей при проведении гидравлических расчетов.

Многочисленными экспериментами ряда исследователей с разными жидкостями при различных скоростях и размерах потока установлено, что на режим движения жидкости оказывает влияние ее вязкость, определяемая динамическим коэффициентом μ , плотность ρ , характерный линейный размер потока l и средняя скорость \mathcal{G} .

Исходя из теории подобия, эти факторы объединяются в безразмерный комплекс Re , названный числом Рейнольдса, который для цилиндрической трубы диаметром d имеет вид:

$$Re = \frac{\rho \cdot \mathcal{G} \cdot d}{\mu}, \quad (1)$$

или с учетом

$$v = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2)$$

$$Re = \frac{\mathcal{G} \cdot d}{v}, \quad (3)$$

где v - кинематический коэффициент вязкости. \mathcal{G}

Для потоков некруглого сечения (нецилиндрические трубы, открытые русла и др.) число Рейнольдса подсчитывается по так называемому гидравлическому радиусу: $Rr = \frac{S}{\Pi}$, где S - площадь живого сечения потока, Π - смоченный периметр:

$$Re = \frac{4 \cdot Rr \cdot \mathcal{G}}{v}, \quad (4)$$

С физической точки зрения [1] число (критерий) Рейнольдса представляет собой отношение сил инерции потока к силам трения при его движении.

Так как сила инерции:

$$J = \rho \cdot V \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dt}, \quad (5)$$

а сила трения:

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dh}, \quad (6)$$

то, разделив J на F, получим:

$$\frac{J}{F} = \frac{\rho \cdot V \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dt}}{\mu \cdot S \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dh}} = \frac{\frac{dh}{dt} \cdot V}{\nu \cdot S} = \frac{V \cdot l}{\nu}, \quad (7)$$

где J - сила инерции;

F - сила трения;

V - объем, занимаемый жидкостью;

S - площадь соприкосновения слоев жидкости;

Выражение $\frac{\mathcal{G} \cdot l}{\nu}$ в уравнении (7) является числом Рейнольдса.

Здесь l - характерная линейная величина.

Для круглых труб, например, характерной величиной является диаметр трубы d, а для некруглых труб и открытых русел - гидравлический радиус Rг, как и записано в формулах (3) и (4).

В зависимости от указанного соотношения (7) устанавливается или ламинарный, или турбулентный режимы движения.

Число Рейнольдса, соответствующее моменту смены режимов движения, называется критическим числом Рейнольдса и обозначается $Re_{кр}$.

Как показывают опыты, значение $Re_{кр}$ не зависит от рода жидкости и для напорного движения в цилиндрической трубе любого диаметра с обычной шероховатостью стенок $Re_{кр}=2320$.

В практике режим движения жидкости определяется путем сравнения величины числа Рейнольдса, подсчитанного по формуле (3) или (4), с соответствующим значением критического числа Рейнольдса. Если $Re < Re_{кр}$, то режим движения считается ламинарным, если $Re > Re_{кр}$ - турбулентным.

Необходимо отметить, что в лаборатории, искусственно уменьшая возмущенность потока, особенно на входе трубы, можно получить ламинарный режим при числах Рейнольдса, значительно превышающих $Re_{кр}$, например, для цилиндрических труб – до $Re=5000$ и даже больше.

Однако такой ламинарный режим движения весьма неустойчив и при малейшем возмущении (например, удар по трубе) мгновенно переходит в турбулентный. При $Re < Re_{кр}$ ламинарный режим является вполне устойчивым и при искусственной турбуликации потока (например, при сотрясении трубы) быстро восстанавливается, благодаря влиянию вязкости жидкости, то есть при $Re < Re_{кр}$ турбулентный режим становится неустойчивым. Поэтому при практических расчетах указанные выше значения $Re_{кр}$ (например, для цилиндрических труб $Re_{кр} = 2320$) приняты в качестве нижней границы для турбулентного.

При $Re=2000 \dots 4000$ характер движения жидкости становится неустойчивым, но обычно в практике это не учитывается.

Описание экспериментальной установки

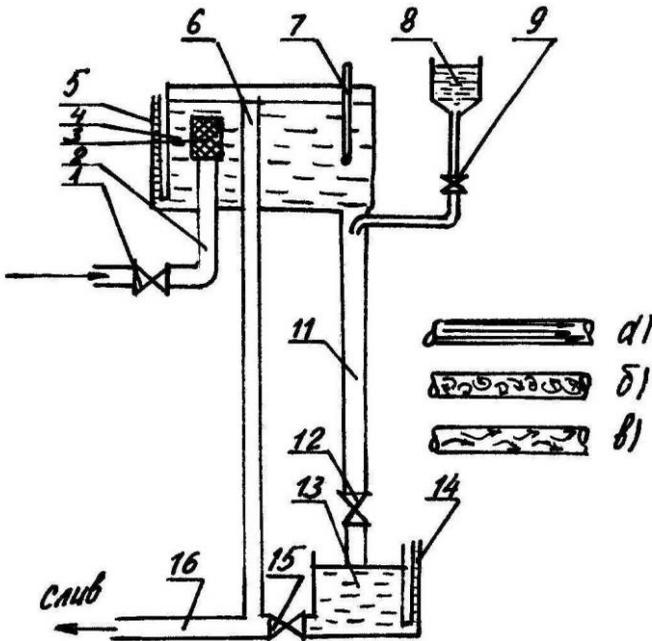


Рис. 1

Наблюдение ламинарного и турбулентного режимов движения производится на экспериментальной установке, схема которой изображена на рисунке 1.

Вода из водопровода через вентиль 1 по трубе 2 с успокоительной сеткой 3 подается в расходный бак 4, уровень воды в котором контролируется водомерной трубой 5.

Во время эксперимента уровень воды в баке поддерживается постоянным. Это достигается при помощи перепускного трубопровода 6, через который сливаются излишки воды.

Температура воды в баке 4 определяется по термометру 7.

Из расходного бака вода поступает в стеклянную трубку 11 диаметром 24,5 мм, расположенную вертикально.

На выходе из стеклянного трубопровода имеется вентиль 12, регулирующий скорость течения жидкости.

На входе трубопровода из бачка 8 тонкой струйкой подается подкрашенная жидкость, расход которой регулируется краном 9.

Жидкость из стеклянного трубопровода поступает в мерный бак 13, имеющий мерную шкалу 14. Через кран 15 вода из мерного бачка сливается в сливной трубопровод 16.

Порядок выполнения работы.

1. Опыты проводятся при открытом вентиле 1 на трубе 2 и постоянном уровне воды в резервуаре 4, то есть при сливе воды по трубе 6.
2. Частичным открытием крана 12 в стеклянной трубе 11 устанавливается наибольшая средняя скорость воды, поступающей из напорного резервуара.
3. Из сосуда 8, регулируя расход краника 9, подкрашенная вода подается в трубу 11. Движение вводимой в поток краски в виде тонкой нити свидетельствует о наличии ламинарного режима в трубе.
4. Для определения расхода измеряется объем воды V за время t , для этого кран 15 перекрывается. Для сокращения времени эксперимента измеряемый объем жидкости удобно брать равным: при малых расходах (малых скоростях) $V=0,001\dots 0,002$ м³, при больших – $0,005$ м³. После замедления времени t кран 15 отрывают.
5. По термометру 7 определяется температура T воды.

6. Регулируя (увеличивая или уменьшая) краном 12 расход воды в трубе 11, проводят 3 – 5 опытов при ламинарном режиме движения.
7. При некотором открытии кран 12 и соответствующей скорости движения воды в трубе 11 фиксируется переходное состояние потока от ламинарного режима к турбулентному. При этом окрашенная струйка приобретает волнистый характер с местными разрывами, появляются заметные вихреобразования.
8. Дальнейшее открытие крана 12 приводит к установлению турбулентного режима движения с интенсивным перемешиванием краски с водой, поток в трубе 11 становится равномерно окрашенным. При этом режиме проводят 3 – 5 опытов со все увеличивающимся открытием крана 12; измеряя объем воды V , время t , и температуру T .

Данные измерений и характер режима движения заносят в соответствующие графы таблицы 1.

Обработка экспериментальных данных.

Все расчеты в данной работе производить в системе СИ. Для этого необходимо измерять скорость g в м/с; диаметр d в м; кинетический коэффициент вязкости ν в м²/с.

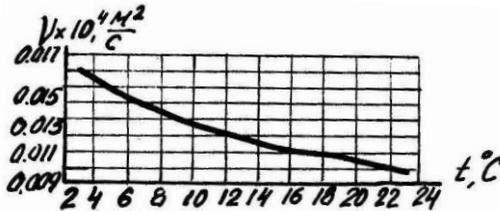


Рис.2.

Обработка экспериментальных данных производится в следующем порядке:

1. Определяется объемный расход жидкости в м³/с:

$$Q = \frac{V}{t},$$

где V - объем мерного бака в м³;

t - время заполнения объема V в секундах;

2. Скорость течения жидкости в трубе в м/с:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2},$$

где d – диаметр трубопровода, $d = 0,0245$ м.

3. Подсчитывается число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \cdot d}{\nu},$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости, определяется в зависимости от температуры воды по графику на рис. 2 или по формуле:

$$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,000221 \cdot T^2} \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c},$$

где T - температура воды в градусах Цельсия.

Результаты вычислений заносятся в соответствующие графы таблицы:

Таблица 1.

Номер опыта	Температура воды	Кинематический коэффициент вязкости	Измеренный объем	Время измерения	Расход воды	Скорость течения	Число Рейнольдса	Характер режима течения
	T	ν	V	t	Q	ρ	Re	
Разм.	$^{\circ}C$	m^2/c	m^3	c	m^3/c	m/c	-	-

Примечания:

Диаметр трубы $d = 0,0245$ м.

Площадь поперечного сечения $S = 4,71 \cdot 10^{-4} m^2$.

Контрольные вопросы.

1. От каких характеристик потока зависит движение жидкости?
2. В чем состоит отличие турбулентного течения от ламинарного?
3. В чем состоит физический смысл и практическое значение критерия Рейнольдса?
4. Как определить гидравлический радиус для каналов некруглого сечения?
5. Нарисуйте профиль скорости в живом сечении потока жидкости при ламинарном режиме?
6. Средняя /среднерасходная/ скорость потока жидкости

7. Истинная /местная / скорость потока жидкости
8. Осредненная скорость потока жидкости
9. Нарисуйте профиль скорости в живом сечении потока жидкости при турбулентном сечении?
10. Живое сечение потока жидкости.
11. Трубка тока
12. Элементарная струйка
13. Линия тока.
14. Уравнение расхода. Уравнение неразрывности
15. Два способа определения режима течения, которые мы применили в данной лаб.работе.
16. Как мы применили в данной лаб.работе уравнение неразрывности?
17. Течение жидкости в данной лаб.работе было установившимся или неустановившимся?
18. Течение жидкости в данной лаб.работе было напорным или безнапорным?
19. Какими видами энергии обладает жидкость в напорном баке?
20. Из каких составляющих образуется давление жидкости в напорном баке?
21. Как определили вязкость воды в этой работе?
22. Каким образом в ходе выполнения этой работы применяется уравнение неразрывности?

Литература.

1. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1984, 424с.
2. Лабораторный практикум по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу / Под редакцией Вильнер Я.М. – Минск: Высшая школа, 1980 224с.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат / Под ред. Руднева С.С. и Подвидза Л.Г. – М.: Машиностроение, 1974, - 416с.

Подписано в печать

Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института
(филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

423810, г.Набережные Челны, Новый город, пр.Мира, 13

