

На ко

1 кр

Казанская государственная архитектурно-строительная академия

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

ГИДРАВЛИКА

Методические указания и задания к
контрольным работам для студентов
заочного инженерного факультета

Казань
2001

Составитель: *Р.С. Качомова*

УДК 697

Гидравлика. Методические указания и задания к контрольным работам для студентов заочного инженерного факультета / Казанская государственная архитектурно-строительная академия; Сост.: *Р.С. Качомова*, Казань, 2001, - 29 с.

Введение.

Гидравлика является прикладной частью механики жидкостей, она изучает законы равновесия и движения жидкостей, а также приложение этих законов к решению инженерных задач. Она безусловно имеет самостоятельное значение, а также является базой для изучения специальных дисциплин, таких как водоснабжение, канализация, отопление, вентиляция, газоснабжение, насосные станции, гидрология, охрана окружающей среды, санитарно-техническое оборудование зданий и др.

Литература.

1. Гиргидов А.Д. Техническая механика жидкости и газа. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 1999.
2. Константинов Ю.М. Гидравлика. Киев: Вища школа, 1983.
3. Константинов Н.М., Петров Н.А., Высоцкий Л.И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. М.: Высшая школа, 1987.
4. Альтшула А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1975.
5. Андриевская А.В., Кременецкий Н.Н., Панова М.В. Задачник по гидравлике. М.: Энергия, 1970.
6. Примеры расчетов по гидравлике. Под ред. А.Д. Альтшуля. М.: Стройиздат, 1977.



Казанская государственная
архитектурно-строительная
академия, 2001 г.

Методические указания по курсу.

1. Физические свойства жидкостей. Отличие жидкости от твердого тела и газа. Удельный вес, плотность, сжимаемость, температурное расширение, вязкость. Закон трения Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Идеальная и реальная жидкость. Силы массовые и поверхностные.

В отличие от газа жидкость очень мало изменяет свой объем при изменении температуры и давления. Сопротивление жидкости изменению своего объема характеризуется коэффициентами объемного сжатия α и температурного расширения β . В отличие от твердого тела жидкость не имеет своей формы, она течет. Текучесть есть вязчина, обратная вязкости. Вязкость проявляется при движении, т.к. между поверхностями слоев возникают касательные напряжения. При слоистом прямолинейном движении вязкость подчиняется закону трения Ньютона:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy},$$

где τ - касательное напряжение, du/dy - градиент скорости по нормали у к поверхности соприкасающихся слоев, μ - динамический коэффициент вязкости. Используется также кинематический коэффициент вязкости v , связанный с динамическим коэффициентом соотношением $v = \mu / \rho$, где ρ - плотность жидкости.

Для облегчения решения прикладных задач в гидравлике применяется понятие "идеальная" жидкость, т.е. модель жидкости, характеризующаяся полным отсутствием вязкости и неизменностью объема при изменении температуры и давления.

Различают **массовые (объемные) силы** и **поверхностные силы**. Массовые силы пропорциональны массе (объему) жидкости, на которую они действуют. Наиболее часто встречающимся примером массовой силы является сила тяжести.

Величина **поверхностных** сил пропорциональна площади поверхности, на которую они действуют. К ним относятся, в частности, сила давления и сила трения.

2. Гидростатическое давление и его свойства. Дифференциальное уравнение равновесия. Основное уравнение гидростатики. Виды давления. Приборы для измерения давления. Определение силы давления на плоские и криволинейные поверхности. Эпюры давления. Центр давления. Закон Архимеда. Плавание тел.

В покоящейся жидкости могут существовать только напряжения сжатия, т.е. давление. Основные свойства гидростатического давления таковы: вектор давления всегда направлен по внутренней нормали к плоскости, на которую давление действует; величина гидростатического давления в любой точке жидкости по всем направлениям одинакова.

Состояние покоя жидкости описывается дифференциальными уравнениями Эйлера. Студент должен уметь их вывести и проинтегрировать. При условии, что единственной массовой силой является сила тяжести, получается основное уравнение гидростатики:

$$p = p_0 + \gamma h,$$

где p - абсолютное давление, p_0 - давление на свободной поверхности жидкости, γh - избыточное давление, которое может быть как положительным, так и отрицательным. При p_0 , равном атмосферному давлению, положительное избыточное давление называется **манометрическим**, а отрицательное - **вакууметрическим** или попросту **вакуумом**. Таким образом, в технике **вакуумом** называют недостаток давления по атмосферному. Для измерения давления служат манометры, вакуумметры, пьезометры, микроманометры, барометры и др.

Сила давления P на плоскую стенку равна произведению смещенной поверхности ω на давление в центре тяжести этой поверхности p_c

$$P = p_c \cdot \omega^*$$

Для криволинейной цилиндрической поверхности сила давления находится путем определения **горизонтальной** и **вертикальной** составляющих силы. Горизонтальная составляющая определяется аналогично силе давления на плоскую стенку; вертикальная - вычисляется как вес жидкости, расположенной над цилиндрической поверхностью. Воздействие жидкости на твердые стенки отражается построением эпюр давления. **Центром давления** называется точка приложения равнодействующей силы давления.

Соотношение между силой тяжести плавающего в жидкости тела и подъемной (архимедовой) силой определяет условие плавания тел. Подъемная сила приложена в центре тяжести вытесненного телом объема жидкости.

3. Основные понятия гидродинамики. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Его геометрический и энергетический смысл. Геометрический, тезометрический и гидравлический уклоны.

Изучение движения жидкости является основной задачей гидродинамики. При этом главным является нахождение основных величин - скоростей течения и давлений, которые зависят от координат пространства и времени. Необходимо различать установившееся и неустановившееся, равномерное, неравномерное и плавноизменяющееся движение, погенциальное и вихревое движение, напорные и безнапорные потоки. К основным понятиям гидродинамики относятся понятия о сплошности, способах задания сплошной среды, а также такие понятия как траектория и линия тока, трубка тока, элементарная струйка, живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус, расход, средняя и местная скорости.

Всеобщий закон сохранения массы выражается в гидравлике уравнением неразрывности (непрерывности, сплошности), которое для несжимаемой жидкости превращается в уравнение постоянства расхода.

Студент должен уметь, интегрируя дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера для движения), получить уравнение Бернулли для идеальной жидкости. Это важнейшее уравнение гидравлики, оно выражает собой закон сохранения энергии применительно к движущейся жидкости.

Все члены уравнения Бернулли отнесены к единице веса жидкости, поэтому все виды энергии в уравнении являются удельными и имеют размерность длины.

При рассмотрении движения реальной жидкости нужно отметить, что вязкость ее обуславливает сопротивление движению и как следствие вызывает потерю части механической энергии; поэтому в уравнение Бернулли для реальной жидкости вводится дополнительное слагаемое, характеризующее потери напора. Механическая энергия, затрачиваемая на преодоление касательных напряжений трения, преобразуется в тепловую и рассеивается в потоке жидкости. Для установившегося плавноизменяющегося потока вязкой жидкости в связи с принятием в определенном сечении средней скорости вводится поправка при определении удельной кинетической энергии в виде

коэффициента Кориолиса (α) для неравномерного распределения местных скоростей по живому сечению, и тогда динамический напор определяется как $\alpha v^2/2g$.

Совместное применение уравнения неразрывности и уравнения Бернулли позволяет решать различные задачи, встречающиеся в инженерной практике. При этом следует руководствоваться следующими положениями:

Уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений, расположенных на прямолинейных участках потока жидкости, нумерация сечений производится по направлению движения, плоскость сравнения проводится параллельно горизонту ниже обоих сечений (а лучше - через наимизнее сечение), сечения выбираются в тех местах, где имеется наибольшее количество известных величин (z, p, v). Гидравлические потери h_{1-2} представляют собой сумму потерь напора между первым и вторым сечениями.

4. Гидравлические сопротивления. Их физическая природа. Основное уравнение равномерного движения. Формулы для определения путевых и местных потерь напора. Два режима течения. Опыты Рейнольдса. Гидродинамическое подобие. Физический смысл чисел Рейнольдса и Фруда. Основные формулы ламинарного течения. Структура турбулентного потока. Пульсации скорости. Осредненная скорость. Пограничный слой и ламинарная пленка. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. Опыты и график Никурадзе.

Энергия потока жидкости тратится на преодоление вязкости, а также на существование вихрей, которые образуются в местах нарушения равномерности течения. При этом механическая энергия превращается в тепловую и рассеивается в окружающем пространстве.

Местные потери вычисляются по формуле Вейсбаха:

$$h = \zeta \cdot v^2/2g,$$

Значения коэффициентов местного сопротивления ζ зависят от формы и конструкции местного сопротивления (задвижка, вентиль, колено, кран, диффузоры, конфузоры и т. п.), определяются экспериментально и приводятся в специальных справочниках.

Путевые потери определяются по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_s = \lambda \cdot l/d \cdot v^2/2g,$$

Коэффициент путевых потерь λ зависит от режима течения. При ламинарном режиме элементарные струйки движутся параллельно стенкам канала, при турбулентном - беспорядочно, хаотично. Количественной характеристикой режима служит число Рейнольдса $Re = vd/v$. Переход из одного режима в другой объясняется преобладанием силы трения или силы инерции в потоке жидкости. Основные формулы ламинарного течения: распределение вязкости и скорости по сечению, формула расхода, средней скорости, коэффициента путевых потерь и коэффициента Кориолиса легко получаются аналитически.

Турбулентный режим гораздо сложнее. В данной точке в данный момент времени различают *мгновенную, пульсационную и осредненную скорости*. Турбулентный поток состоит из турбулентного ядра и пограничного слоя, внутри которого возле твердых границ имеется ламинарный подслой (ламинарная пленка), толщина которого обратно пропорциональна числу Рейнольдса. При турбулентном режиме оказывается влияние шероховатости стенок трубопровода. Различают абсолютную, относительную и эквивалентную шероховатость, а также гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы. На графике Никурадзе для зависимости λ от числа Re и шероховатости представлены пять зон: ламинарного течения, неустойчивая зона перехода от ламинарного течения к турбулентному, и три зоны турбулентного течения. Они следующие: область гидравлически гладких труб, переходная (дисквадратичная) и область гидравлически шероховатых труб (квадратичная). Каждой зоне соответствуют свои формулы для вычисления λ . Они приведены в таблице 4 приложения.

5. Истечение жидкости из отверстий и насадков. Истечение из малого отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. Коэффициенты скорости, расхода, сжатия. Сжатие полное, неполное, совершенное, несовершенное. Истечение под уровень. Истечение из большого отверстия. Истечение при переменном напоре. Типы насадков. Области их применения. Срыв вакуума в насадке.

В результате применения уравнения Бернуlli к сечениям, один из которых совпадает со свободной поверхностью в резервуаре, а другое - со сжатым сечением струи, вытекающей из малого отверстия в тонкой стенке, получаем формулы скорости и расхода струи:

$$v = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

и

$$Q = \mu \varphi \sqrt{2gH_0} \cdot \Omega$$

где H_0 - напор истечения с учетом скорости подхода, φ - площадь отверстия, φ и μ - коэффициенты скорости и расхода соответственно, причем, $\mu = \varphi \vartheta$, где ϑ - коэффициент сжатия струи, величина которого зависит от типа сжатия.

Для большого отверстия формула расхода несколько более сложная, чем для малого. Время t истечения при переменном напоре зависит от начального H_1 и конечного H_2 напоров истечения, площади отверстия ω и площади резервуара в плане Ω :

$$t = \frac{2\Omega}{\mu \omega \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$$

Насадки бывают цилиндрические (внешний и внутренний), конические (сходящийся и расходящийся) и коношайльный, выполненный по форме вытекающей струи. Гидравлические струи применяются при устройстве фонтанов, в пожарной технике, в горном деле для разрушения и размытия пород, при разработке карьеров, при вскрышных работах и т.п.

При рассмотрении истечения через внешний цилиндрический насадок следует обратить внимание на образование вакуума в нем. Величина вакуума пропорциональна напору истечения. Но существует предельное значение напора (различное для разных жидкостей), превышение которого ведет к так называемому срыву вакуума. При этом насадок перестает выполнять свою функцию, и истечение происходит аналогично истечению из малого отверстия в тонкой стенке.

6. Движение жидкости в напорных трубопроводах. Короткие и длинные трубы. Основные расчетные формулы и задачи. Экономически наилучший диаметр трубопровода. Простые и сложные трубопроводы. Особенности расчета последовательно и параллельно соединенных труб. Непрерывная задача расхода по пути. Сифон. Понятие о гидравлическом ударе. Неоднородная жидкость. Гидравлическая крупность.

Короткие напорные трубы рассчитываются как насадки, только здесь надо учитывать также и путевые потери. Длинные трубопроводы отличаются тем, что в них преувеличиваются путевые потери. Основные расчетные формулы исходят из формулы Дарси-Вейсбаха для путевых потерь. Для скорости применяется формула Шези $v = C \sqrt{RJ}$ где C - коэффициент Шези, зависящий от коэффициента шероховатости n

и гидравлического радиуса R трубы, J - гидравлический уклон. Объемный расход определяется по формуле

$$Q = K \sqrt{J},$$

где K - расходная характеристика, или модуль расхода, зависящий от диаметра и коэффициента шероховатости трубы. Значения C и K находятся в справочной литературе, их можно при желании вычислить, например, по формулам:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \text{и} \quad K = \phi C \sqrt{R},$$

где n - коэффициент шероховатости.

Потери напора по длине трубопровода находятся по трубопроводной формуле

$$h_f = \Psi A Q^2,$$

где Ψ - поправка на неквадратичность зоны сопротивления, A - удельное сопротивление трубопровода. Значение A можно найти в справочниках или определить по формуле

$$A = \frac{1}{K^2} = \frac{\lambda}{g \pi^2 d^5},$$

Коэффициент путевых потерь λ находится по известным формулам для квадратичной зоны сопротивления, например, по формуле Шифринсона

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0.25}.$$

При расчете трубопроводов возникают задачи определения расхода жидкости, напора или диаметра трубопровода. Все они решаются с помощью приведенных выше формул. Из подходящих диаметров трубопровода выбирается экономически наивыгоднейший, который соответствует минимальному значению суммы капитальных и эксплуатационных затрат.

Особенности расчета последовательно и параллельно соединенных труб таковы: при последовательном соединении гидравлические потери по длине трубопровода складываются, а расход одинаков (если нет раздачи по пути); в параллельных ветвях гидравлические потери в каждой ветви одинаковы, однако расходы, проходящие в них, различны. (Здесь можно усмотреть аналогию с электрическими цепями: в последовательной цепи сила тока одна и та же, а сопротивления

складываются, а в параллельных ветвях силы тока складываются, а сопротивления одинаковы).

Сложные трубопровоны имеют ответвления (к таким трубопроводам относят кольцевые и тупиковые трубопроводы). Существуют различные методы расчета сложных кольцевых сетей.

В случае непрерывной раздачи расхода по пути вводится понятие *расчетного расхода*.

В сифонном напорном трубопроводе жидкость перемещается без помощи насоса благодаря вакууму в верхнем сечении сифона. Существует предельное значение вакуума, с ним связано предельное значение *геометрической высоты верхнего сечения сифона*.

Гидравлический удар - резкое повышение давления - возникает при внезапном изменении скорости жидкости в напорном трубопроводе. Разработаны меры борьбы с гидравлическим ударом. На использовании гидравлического удара основана работа некоторых механизмов, например, гидравлического тарана.

К неоднородным жидкостям относятся строительные растворы, пульпа, сточная жидкость и др. Здесь вводится понятие *гидравлической крупности*.

7. Равномерное движение жидкости в открытых каналах. Нормальная глубина. Формы каналов. Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала. Допускаемые скорости. Расчет безнапорных труб.

При равномерном движении в канале живое сечение, глубина и средняя скорость не изменяются вдоль канала. Глубина равномерного движения называется *нормальной глубиной*. Основной расчетной формулой для скорости является формула Шези $v = c \sqrt{R \cdot i_0}$, где i_0 - геометрический уклон дна канала.

Гидравлически наивыгоднейшим сечением русла является сечение, которое при заданной площади живого сечения, уклона и шероховатости поверхности русла имеет наибольшую пропускную способность. Для трапециoidalного канала такое сечение определяется следующей зависимостью:

$$\frac{b}{h} = 2 \left(\sqrt{1 + m^2} - m \right),$$

где m - коэффициент заложения откоса.

Допускаемые скорости в каналах связаны с тем, чтобы предотвратить как разрыв русла, так и его заливание.

Расчет безнапорных труб связан с понятием коэффициента наполнения

$$a = \frac{h}{d},$$

где h - глубина потока, d - диаметр трубы.

8. Фильтрация. Движение грунтовых вод. Напорная и безнапорная фильтрация. Закон фильтрации Дарси. Приток воды к одиночному совершенству трубычатому колодцу.

Фильтрацией называется движение жидкости в пористой среде. Здесь применяется закон фильтрации Дарси.

$$V = KJ,$$

где V - скорость фильтрации, K - коэффициент фильтрации, J - гидравлический уклон. Подземные потоки жидкости, также как и поверхностные, могут быть напорными и безнапорными.

Для отбора воды из водонасыщенного пласта грунта используются колодцы, скважины, галереи, дрены, траншеи. Необходимо уяснить себе смысл понятий: совершенный и несовершенный колодец, дебит колодца, мощность пласта, депрессионная кривая, радиус влияния колодца, артезианский колодец.

Задания к контрольным работам.

Задания к контрольным работам по гидравлике составлены на основе программы курса "Гидравлика" по специальностям, утвержденной Министерством общего и профессионального образования РФ.

Студенты выполняют две контрольные работы (по шесть задач в каждой). Номера задач выбирают в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки студента по таблице.

Таблица

Последняя цифра номера зачетной книжки	Номера задач									
	Контрольная работа № 1					Контрольная работа № 2				
0	1	7	12	16	21	26	31	36	41	46
1	2	8	13	17	22	27	32	37	42	47
2	3	6	11	18	23	28	33	38	43	48
3	4	10	15	19	24	29	34	39	44	49
4	5	9	14	20	25	30	35	40	45	50
5	1	6	11	17	25	30	31	40	44	50
6	2	7	12	16	21	26	32	38	45	49
7	3	8	13	19	22	27	33	39	42	46
8	4	9	14	20	23	28	34	37	41	47
9	5	10	15	18	24	29	35	36	43	48

При выполнении контрольных работ необходимо по ходу решения давать соответствующие пояснения и указывать использованную литературу. Решение задачи должно выполняться с соблюдением размерности всех входящих величин при использовании международной системы единиц (СИ).

В приложении представлены справочные данные, необходимые для определения различных коэффициентов и величин.

Контрольная работа № 1

Задача 1. Резервуар, наполненный нефтью, находится под давлением $p_1 = 490 \text{ кПа}$. После выпуска из него $0,04 \text{ м}^3$ нефти давление в резервуаре упало до $p_2 = 98 \text{ кПа}$. Определить емкость резервуара, если коэффициент сжимаемости нефти равен $\alpha = 7,5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}}{\text{Н}}$.

Задача 2. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится $W = 0,6 \text{ м}^3$ воды. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании от 22 до 90°C ?

Задача 3. Кинематическая вязкость нефти при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ составляет $12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Определить динамическую вязкость μ нефти при 10°C , если известно, что при температуре $t_2 = 20^\circ\text{C}$ плотность нефти равна $\rho = 890 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Задача 4. Две вертикальные трубы центрального отопления соединены с горизонтальным участком, на котором установлена запоршка диаметром $d=0,15 \text{ м}$. Температура воды в правой вертикальной трубе $t_{\text{прав}} = 90^\circ\text{C}$, а в левой $t_{\text{лев}} = 20^\circ\text{C}$. Найти разность суммарных давлений на запоршку справа и слева. Высота воды в вертикальных трубах над уровнем горизонтальной трубы равна $h=17 \text{ м}$ (рис. 1).

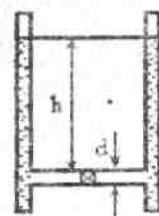


рис.1

Задача 5. Определить тягу Δp через дымовую трубу (рис. 2) высотой $H=55 \text{ м}$, если удельный вес дымовых газов $\gamma_{\text{газ}}=0,6 \text{ кг}/\text{м}^3$, а температура наружного воздуха $t_{\text{возд}}=15^\circ\text{C}$.

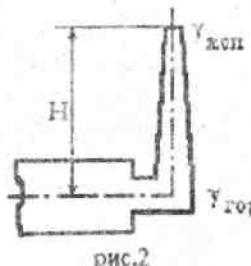


рис.2

Задача 6. Определить избыточное давление p в кotle с водой (температура $t=20^\circ\text{C}$ и пьезометрическая высота h_1), если высота поднятия уровня ртути в жидкостном манометре $h_2=150 \text{ мм}$ (рис.3).

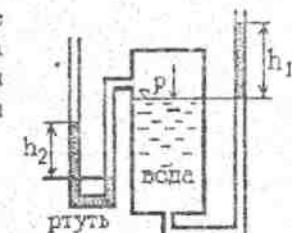


рис.3

Задача 7. Определить действующее давление в кольце системы отопления (рис.4), если в кotle A вода нагревается до температуры 90°C , а в нагревательном приборе B охлаждается до температуры 70°C . Расстояние между центрами котла и нагревательного прибора $h_2=12 \text{ м}$.

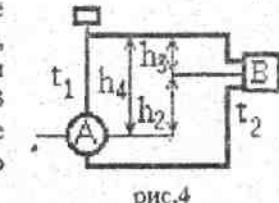


рис.4

Задача 8. Определить высоту h , на которую может поднять воду прямодействующий паровой поршневой насос, если манометрическое давление в паровом цилиндре $P_m=245 \text{ кПа}$, $d=0,12 \text{ м}$, $D=0,20 \text{ м}$ (рис.5).

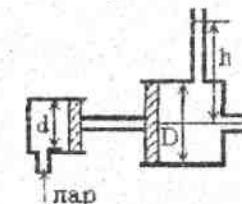


рис.5

Задача 9. Котел системы водяного отопления имеет люк для осмотра $D=0,8 \text{ м}$. Люк закрыт плоской крышкой, прикрепленной 10 болтами. Определить диаметр болтов, если уровень воды в расширительном сосуде находится на высоте $H=30 \text{ м}$, а центр тяжести крышки - на высоте $h=2 \text{ м}$ от осевой линии котла (рис.6). Температура воды 20°C .

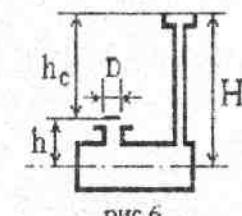
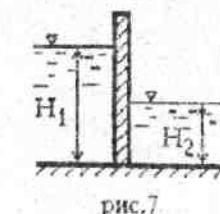


рис.6

Задача 10. Вертикальный плоский затвор перегораживает прямоугольный канал шириной $b=3,6 \text{ м}$. Глубина воды до затвора $H_1=3,2 \text{ м}$, после затвора $H_2=0,6 \text{ м}$ (рис.7). Определить силу гидростатического давления на затвор и точку ее приложения. Построить эпюру гидростатического давления.



Задача 11. Определить силу P давления воды на крутую крышку люка диаметром $d=1,5$ м, закрывающую отверстие на наклонной стенке (рис.8). Угол наклона стеники $\alpha=60^\circ$. Длина наклонной стенки от уровня воды до верха люка $a=1,6$ м. Найти точку приложения равнодействующей.

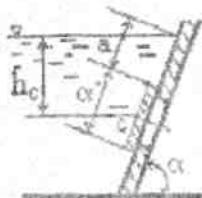


рис.8

Задача 12. Определить необходимую ширину B основания бетонной стены треугольного профиля, удерживающей давление воды, из условия устойчивости ее на опрокидывание (противодавление снизу не учитывается). Дано: $H=5$ м, удельный вес бетона $\gamma_b=21,6$ кН/м³. Коэффициент устойчивости на опрокидывание $k=M_{yB}/M_{op}$ = 1,5, где M_{yB} и M_{op} - моменты удерживающей и опрокидывающей силы соответственно. Расчет произвести на один погонный метр длины стены ($b=1$ м) (рис.9).

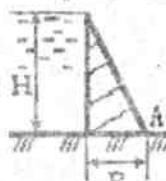


рис.9

Задача 13. Плоский затвор водозаборного сооружения гидроэлектростанции может перемещаться по наклонной стенке плотины с углом наклона $\alpha=70^\circ$.

Размеры затвора: высота $h=1,8$ м; ширина $b=24$ м; толщина $c=0,4$ м. Собственный вес затвора $G=2\pi$. Определить силу T , необходимую для перемещения затвора вверх, если коэффициент трения $f=0,35$.

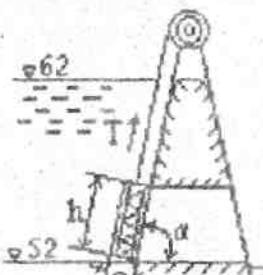


рис.10

Задача 14. Определить величину силы давления воды на сегментный затвор радиусом $R=3$ м при заданных значениях ширины затвора $b=4$ м (в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа) и угла $\alpha=60^\circ$ (рис.11). Построить эпюру гидростатического давления и найти точку приложения силы суммарного давления.

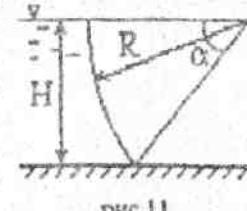


рис.11

Задача 15. Определить усилие, срезающее заклепки боковой стенки котла АВ в месте ее прикрепления к цилиндрической части последнего (рис.12). Внутреннее давление в котле $p=3$ МПа, диаметр цилиндрической части $D=2$ м.

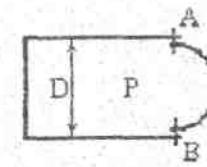


рис.12

Задача 16. Определить величину и направление равнодействующей силы двухстороннего давления воды на полуцилиндрическую поверхность $d=2$ м (рис.13).

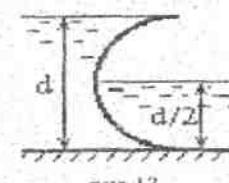


рис.13

Задача 17. Бревно, длина которого $l=3,5$ м, а диаметр $d=30$ см, плавает в воде. Какова масса M человека, который может стоять на бревне, не замочив ног? Плотность дерева $\rho=0,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Задача 18. Прямоугольная баржа размером 18×9 м, когда ее загрузили песком, погрузилась в воду на $0,5$ м по сравнению с первоначальным положением по загрузки. Определить объем песка в барже (относительный удельный вес песка равен двум).

Задача 19. Объемное водоизмещение подводной лодки 600 м³. С целью погружения лодки отсеки были заполнены морской водой в количестве 30 м³. Относительный удельный вес морской воды $1,025$. Определить: 1) Какая часть объема лодки (в процентах) будет погружена в воду, если из подводной лодки удалить всю воду, и она всевышется? 2) Чему равен вес подводной лодки без воды?

Задача 20. По трубопроводу диаметром 200 мм, который внезапно суживается до диаметра 100 мм, подается масло (плотность $\rho=750$ кг/м³). Давление в рассматриваемом сечении, взятом в первой трубе с диаметром $d_1=200$ мм, равно $176,58$ кН/м² (18 м вод.ст.), а во втором сечении, выбранном в трубе с $d_2=100$ мм - $147,15$ кН/м² (15 м вод.ст.). Геометрическая высота первого сечения над плоскостью сравнения, проходящей через центр тяжести второго сечения, равна 1 м. Расход масла, подаваемый по трубопроводу, $Q=31,4$ дм³/с. Определить: 1) потери напора на рассматриваемом участке; 2) гидродинамический напор в первом сечении.

Задача 21. Определить вакуум во всасывающей трубе насоса (в месте установки вакуумметра V) при ширине трубы $l=20$ м, диаметре $d=0,2$ м, количестве подаваемой насосом воды $Q=0,06 \text{ м}^3/\text{s}$ и высоте центра насоса над поверхностью воды $h_{\text{нac}}=4,5$ м (рис.14). На входе в трубу имеется сетка.

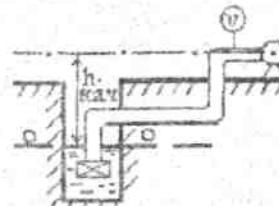


рис.14

Задача 22. Определить скорость движения воды в трубе V и расход воды Q , если длина трубы $l=200$ м, диаметр $d=0,1$ м, разность уровней $H=5$ м (рис.15).

Коэффициент потерь в сосуне (на входе в трубу) принять равным $\zeta=5,0$.

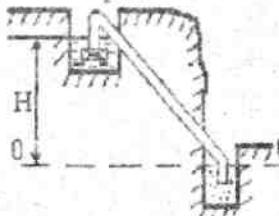


рис.15

Задача 23. Для учета количества воды в трубопроводе диаметром $d_1=200$ мм установлен водомер Вентури с диаметром цилиндрической вставки $d_2=100$ мм (рис.16). Пьезометрические трубки показывают разность высот $h=0,5$ м. Определить проходящий расход Q .

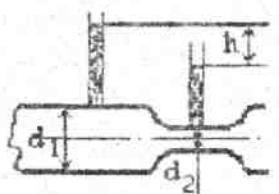


рис.16

Задача 24. Определить критическую скорость, отвечающую переходу от ламинарного течения к турбулентному для трубы диаметром $d=100$ мм при движении в ней воды и воздуха при температуре $t=15^\circ\text{C}$ и глицерина при $t=20^\circ\text{C}$.

Задача 25. Конденсатор паровой турбины, установленный на тепловой электростанции, оборудован 8186 охлаждающими трубками диаметром $d=0,025$ м. В нормальных условиях работы через конденсатор пропускается $13600 \text{ м}^3/\text{час}$ циркуляционной воды с температурой $12,5 - 13^\circ\text{C}$. Будет ли при этом обеспечен турбулентный режим движения в трубках?

Задача 26. Вода в количестве $Q=0,025 \text{ м}^3/\text{s}$ протекает по горизонтальной трубе, внезапно сужающейся от $d_1=200$ мм до

$d_2=100$ мм. Определить, какую разность уровней ртути h покажет шифференциальный манометр, подсоединененный до и после сужения.

Задача 27. Для ограничения расхода воды в водопроводной линии установлена диафрагма. Избыточные давления в трубе диаметром $D=150$ мм до и после диафрагмы постоянны и равны соответственно $p_1=6,5 \cdot 10^4$ Па и $p_2=1,6 \cdot 10^4$ Па. Определить необходимый диаметр d отверстия диафрагмы с таким расчетом, чтобы расход Q равнялся $0,06 \text{ м}^3/\text{s}$.

Задача 28. Определить манометрическое давление, которое должен создавать насос (рис.17), чтобы подать воду в количестве $Q=15 \text{ л}/\text{s}$ в водонапорный бак на высоту $h=12$ м по трубопроводу длиной $l=50$ м. Диаметр трубы $d=150$ мм. При расчете высоту выступов шероховатости принять $a = 1,35$ мм, как для нормальных труб после ряда лет эксплуатации. Температуру воды принять $t=15^\circ\text{C}$, $\zeta_{\text{зак}}=0,29$.

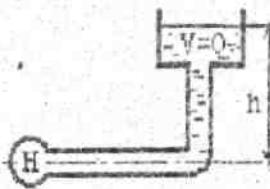


рис.17

Задача 29. В качестве нагревательных приборов системы отопления использованы стальные трубы $d_1=0,1$ м. Стойки, подводящий нагретую воду, и соединительные линии выполнены из труб диаметром $d_2=0,025$ м и приварены к торцам нагревательных труб (рис.18). Определить потери давления при внезапном расширении трубопроводов, если скорость движения горячей воды в подводящих линиях $V=0,3 \text{ м}/\text{s}$, а температура воды 30°C .

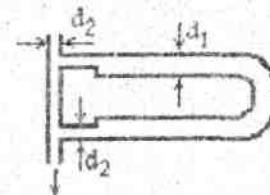


рис.18

Задача 30. В водоприемный колодец насосной станции из канала поступает вода с расходом $Q=0,125 \text{ м}^3/\text{s}$ по новой стальной сварной трубе длиной $l=75$ м. Разность уровней воды в канале и колодце $H=2,4$ м. Температура воды $t=15^\circ\text{C}$. На входе в трубу имеется сетка. Определить диаметр трубы, если задвижка, установленная на нее, постепенно открыта. Определить, насколько уменьшится расход воды в случае закрытия задвижки на 25 % (рис.19).

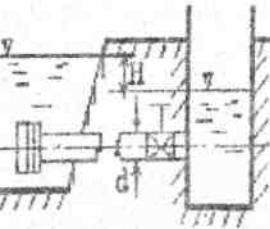


рис.19

Контрольная работа № 2.

Задача 31. Сопротивление участка водопроводной трубы диаметром $d=50$ мм с отводами и арматурой хотят перед установкой проверить в лаборатории путем испытаний на воздухе.

Определить:

1) с какой скоростью следует вести пропускку, сохранив подобие, если скорость воды в трубе будет равна $V=2,5$ м/с;

2) какова будет потеря напора (в метрах вод. столба) при работе трубы на воде с указанной скоростью, если при испытании на воздухе потеря давления оказалась равной $\Delta p_a=0,055$ кгс/см².

Значения кинематического коэффициента вязкости (при $t=20^\circ\text{C}$) для воздуха $v=0,156$ см²/с и воды $v=0,01$ см²/с, удельный вес воздуха $\gamma=1,166$ кгс/м³.

Задача 32. Центробежный насос осуществляет забор воды из водоприемного колодца. Длина и диаметр всасывающей трубы насоса $l=14$ м, $d=150$ мм, на трубе имеется колено, а на входе в нее установлен обратный клапан с сеткой (рис.20). Вакуум на входе в насос при подаче $Q=0,045$ м³/с равен 0,63 атм. Определить допустимое расстояние от оси насоса до уровня воды в колодце $h_{\text{нис}}$.

Всасывающая труба стальная сварная, бывшая в употреблении. Температура воды $t=10^\circ\text{C}$.

Задача 33. В стальном трубопроводе системы горячего водоснабжения диаметром $d=0,0125$ м и длиной $l=100$ м движется вода со скоростью $V=0,5$ м/с. Температура воды 50°C . На трубопроводе имеются два поворота под углом $\alpha=90^\circ$ и пробочный кран. Определить потери давления. Коэффициент потерь в кране принять равным $\zeta=2,0$.

Задача 34. Из напорного резервуара вода ($t=20^\circ\text{C}$) по трубопроводу переменного сечения $d_1=80$ мм, $d_2=100$ мм, $d_3=120$ мм с конической насадкой $d_4=40$ мм на конце вытекает в атмосферу. Уровень воды в резервуаре находится на расстоянии $H=6$ м от оси трубопровода (рис.21).

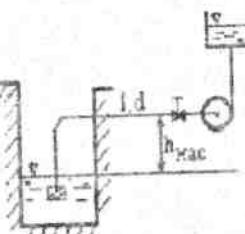


рис.20

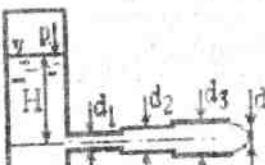


рис.21

Определить, какое необходимо создать избыточное давление p в резервуаре, чтобы обеспечить расход $Q=0,03$ м³/с. Гидравлическими потерями пренебречь. Построить пьезометрическую линию.

Задача 35. Из бака по трубопроводу диаметром $d=150$ мм вода вытекает в атмосферу. Уровень воды в баке находится на высоте $H=10$ м над осью трубопровода (рис.22). Насколько изменится H , если диаметр трубопровода принять $d=100$ мм, а расход Q оставить без изменения? Определить расход воды. Гидравлическими потерями пренебречь

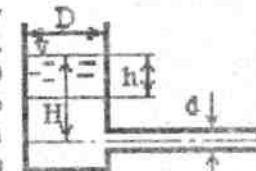


рис.22

Задача 36. Вода при температуре $t=15^\circ\text{C}$ из резервуара по трубопроводу вытекает в атмосферу (рис.22). Определить диаметр трубопровода в случае перехода ламинарного режима в турбулентный при расходе $Q=0,18$ л/с. Какой необходимо поддерживать напор H при найденном диаметре d , чтобы при турбулентном режиме число Рейнольдса равнялось $Re=4,4 \cdot 10^5$? Гидравлическими потерями пренебречь.

Задача 37. Через отверстие в тонкой стенке вытекает вода в бак, имеющий объем $W=1,9$ м³. Площадь отверстия $\omega=20$ см². Напор над центром отверстия $H_1=0,9$ м (рис.23).

Определить: 1) время t наполнения бака; 2) при каком напоре H_2 бак наполнится в 2 раза быстрее?

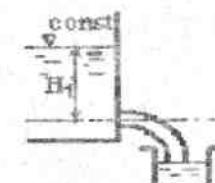


рис.23

Задача 38. Определить: 1) диаметр d отверстия в дне бака, чтобы при глубине $h_1=87$ см воды в баке, расход через отверстие был равен $Q=5$ л/с. Внешнее давление $p_0=p_{\text{атм}}$; 2) при какой глубине h_2 из бака будет такой же расход воды, если к отверстию в дне присоединить снаружи вертикальный цилиндрический насадок длиной $l=4d$?

Указание. Напор при истечении из насадки следует считать над центром выходного сечения.

Задача 39. Из цилиндрического бака с площадью поперечного сечения $\Omega=0,93$ м² вытекает вода через отверстие $\omega=3$ см² в дне. Через 30 мин. после открытия отверстия глубина h в баке оказалась равной 25 см. Сколько литров воды вытекло за первые 10 мин?

Задача 40. Вода вытекает через большое прямоугольное отверстие высотой $a=0,6$ м, заглушенное под постоянный уровень $h=0,4$ м. Определить, какую часть z высоты отверстия надо перекрыть щитом, чтобы расход уменьшился в 2 раза. Коэффициент расхода при обоих положениях щита принимать одинаковым.

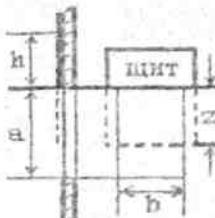


рис.24

Задача 41. Определить расход Q и скорость V истечения нефти из бака через отверстие диаметром $d=25$ мм, если напор в баке поддерживается постоянным и равным $H=4$ м. Значение кинематической вязкости нефти при $t=15^\circ\text{C}$ $\nu_n=0,087 \text{ см}^2/\text{с}$.

Задача 42. Найти, через какой промежуток времени t уровень в баке В повысится с отметки $H_1=9$ м до отметки $H_2=4$ м, если горизонт воды в баке А остается постоянным. Диаметр бака равен $D=2$ м, длина трубопровода $l=20$ м, а его диаметр $d=200$ мм (рис.25).

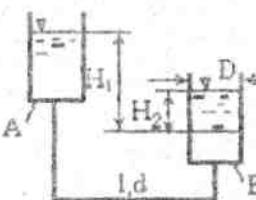


рис.25

Задача 43. Найти потери напора по длине при движении воды с температурой $t=20^\circ\text{C}$ в цельносварной стальной трубе, бывшей в употреблении, диаметром $d=300$ мм. Расход воды $Q=0,15 \text{ м}^3/\text{с}$. Длина трубы $l=1000$ м.

Задача 44. Вода при температуре $t=10^\circ\text{C}$ протекает в количестве $Q=0,012 \text{ м}^3/\text{с}$ в горизонтальной трубе кольцевого сечения, состоящей из двух концентрических оцинкованных стальных труб. Внутренняя труба имеет наружный диаметр $d_1=100$ мм, а наружная труба имеет внутренний диаметр $d_2=150$ мм. Найти потери напора на трение на длине трубы $l=500$ м.

Задача 45. Вентиляционная труба $d=0,1$ м имеет длину $l=100$ м. Определить давление, которое должен развивать вентилятор, если расход воздуха, подаваемый по трубе, равен $Q=0,078 \text{ м}^3/\text{с}$. Эквивалентная шероховатость трубы $k_e=0,2$ мм. Давление на выходе

$p=p_{atm}=101 \text{ кПа}$. Местных сопротивлений по пути не имеется. Температура воздуха 20°C .

Задача 46. Определить потери давления при движении масла в радиаторе (рис.26), если расход масла $Q=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр коллектора радиатора $d_0=0,03$ м, диаметр трубок $d_{tr}=0,01$ м, длина их $l_{tr}=1$ м. Плотность масла $\rho=900 \text{ кг}/\text{м}^3$, кинематическая вязкость $\nu=6,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

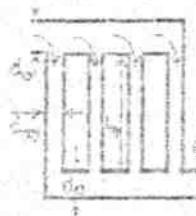


рис.26

Задача 47. Найти потери напора по длине трубопровода, состоящего из последовательно соединенных новых чугунных труб $l_1=500$ м, $d_1=100$ мм, и $l_2=300$ м; $d_2=125$ мм. Расход воды ($t=20^\circ\text{C}$), проходящей по трубопроводу, $Q=0,01 \text{ м}^3/\text{с}$.

Задача 48. Вычислить эквивалентную шину местного сопротивления в трубопроводе из чугунных новых труб, если коэффициенты местного сопротивления в формуле Вейсбаха $\xi_1=5$ и $\xi_2=18$. Диаметр трубопровода $d=200$ мм, расход воды в нем $Q=0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ при температуре $t=20^\circ\text{C}$.

Задача 49. Вода при помощи сифонного трубопровода сбрасывается из водоема А в водоем В (рис.27). На трубопроводе имеется колено и решетка. Требуется определить диаметр сифона для пропуска расхода $Q=0,03 \text{ м}^3/\text{с}$. Дано: $H=5$ м, $l_1=30$ м, $l_2=150$ м.

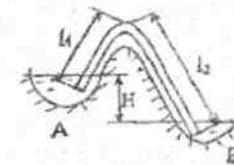


рис.27

Задача 50. Водопровод состоит из трех последовательно соединенных стальных сварных труб, бывших в употреблении. Найти потери напора на всем участке водопровода при пропуске по нему воды расходом $Q=0,007 \text{ м}^3/\text{с}$. Размеры труб водопровода $l_1=200$ м, $d_1=50$ м; $l_2=500$ м, $d_2=150$ мм; $l_3=300$ м, $d_3=100$ мм.

Задача 51. Из водонапорной башни в трубопровод из стальных сварных труб, бывших в употреблении, подается вода при температуре $t=15^{\circ}\text{C}$ расходом $Q=0,12 \text{ м}^3/\text{s}$. Длина трубопровода до разветвления его $l_1=900 \text{ м}$, диаметр $d_1=250 \text{ мм}$. Две горизонтальные параллельные ветви, разделяющиеся в точке O , имеют следующие размеры: $l_2=800 \text{ м}$, $d_2=150 \text{ мм}$ и $l_3=1200 \text{ м}$, $d_3=200 \text{ мм}$ (рис.28). Определить расход воды в каждой ветви трубопровода и напор воды в башне H . Местными гидравлическими потерями пренебречь.

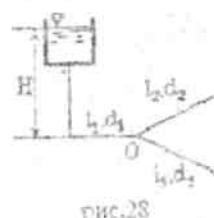


рис.28

Задача 52. Из водонапорной башни вода ($t=15^{\circ}\text{C}$) расходом $Q=0,035 \text{ м}^3/\text{s}$ поступает по трубопроводу, составленному из трех последовательно соединенных оцинкованных новых труб, в резервуар. Длина и диаметр ветвей трубопровода $l_1=500 \text{ м}$, $d_1=150 \text{ мм}$; $l_2=1500 \text{ м}$, $d_2=250 \text{ мм}$; $l_3=1300 \text{ м}$, $d_3=200 \text{ мм}$ (рис.29). Уровень воды в резервуаре находится на высоте $H_1=1,3 \text{ м}$ от оси трубопровода. Определить высоту уровня воды в башне H_2 . Местными гидравлическими потерями пренебречь.

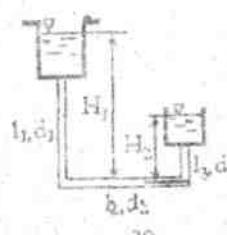


рис.29

Задача 53. В распределительный бак вода при температуре 15°C расходом $Q=0,14 \text{ м}^3/\text{s}$ поступает из напорного резервуара по двум параллельно соединенным трубопроводам, длина и диаметр которых $l_1=1400 \text{ м}$, $d_1=250 \text{ мм}$; $l_2=1000 \text{ м}$, $d_2=200 \text{ мм}$ (рис.30). Трубы стальные сварные, бывшие в употреблении. Размеры труб до разветвления $l_3=600 \text{ м}$, $d_3=350 \text{ мм}$.

Уровень воды в баке $H_2=2,5 \text{ м}$. Определить расход воды в трубах. Вычислить, на какой высотеолжине находиться уровень воды в резервуаре H_1 . Местными гидравлическими потерями пренебречь.

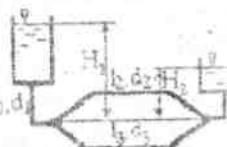


рис.30

Задача 54. Во сколько раз может быть повышена пропускная способность канала, выполненного в глинистых грунтах, если его облицевать кирпичной кладкой?

Задача 55. Определить глубину воды в канале, соответствующую гидравлически неизгоднейшей форме трапециoidalного сечения, если ширина канала по дну $b=0,3 \text{ м}$ и коэффициент заложения откоса $m=2$.

Задача 56. По канализационной бетонной трубе круглого сечения, имеющей продольный уклон $i=0,0075$, проходит расход $Q=0,26 \text{ м}^3/\text{s}$. Определить диаметр трубы и среднюю скорость потока в ней. Вычислить, какой будет расход, если уклон трубы установить $i=0,005$.

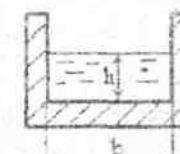


рис.31

Задача 57. Определить, какой уклон необходимо придать лотку прямоугольного сечения (рис.31), для того, чтобы он смог пропустить расход воды $Q=2 \text{ м}^3/\text{s}$. Ширина лотка $b=1,2 \text{ м}$. Глубина воды в потоке $h=0,8 \text{ м}$. Дно и стени лотка выполнены из строганых досок.

Задача 58. Определить расход и среднюю скорость в трапециoidalном земляном канале при ширине дна $b=10 \text{ м}$, глубине воды $h=3,5 \text{ м}$, коэффициенте откоса $m=1,25$ и продольном уклоне дна канала $i=0,0002$. Грунты лессовые среднеплотные. Канал в средних условиях содержания и ремонта.

Задача 59. Колодец, диаметром $d=500 \text{ мм}$, используемый для водоснабжения, доведен до водоупора. Мощность водоносного пласта грунта $H=22 \text{ м}$. Понижение уровня воды в колодце $S=8 \text{ м}$ (рис.32). Определить дебит колодца. Грунт - крупнозернистый песок, радиус влияния колодца $R=350 \text{ м}$.

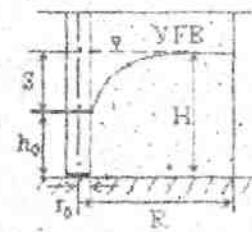


рис.32

Задача 60. Артезианская скважина диаметром $d=200 \text{ мм}$, используемая для водоснабжения, доведена до водоупора в напорном пласте грунта мощностью $T=20 \text{ м}$. Радиус влияния $R=260 \text{ м}$ (рис.33). Определить понижающееся уровня воды в скважине S при дебите $Q=0,08 \text{ м}^3/\text{s}$. Грунт - среднезернистый песок с включением гравия.

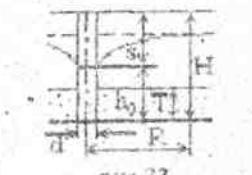


рис.33

Приложение.

Справочные данные

Таблица 1

Значения ρ и v для разных жидкостей при $t=20^\circ\text{C}$

Наименование жидкости	ρ , kg/m^3	$v \cdot 10^6$ m^2/s
Вода пресная	998	1.01
Масло индустриальное	890	50
Ртуть	13500	0.16

Таблица 2

Плотность ρ и кинематический коэффициент вязкости v воды в зависимости от температуры.

$t^\circ\text{C}$	ρ , kg/m^3	$v \cdot 10^6$, m^2/s	$t^\circ\text{C}$	ρ , kg/m^3	$v \cdot 10^6$, m^2/s
4	1000	1.57	25	997	0.890
10	999.7	1.31	30	995.7	0.803
15	999.1	1.15	35	994.4	0.725
20	998.2	1.01	40	993.2	0.659

Таблица 3

Средние значения эквивалентной шероховатости k_s стены трубы из различных материалов

Материал труб	k_s , мм	
	Новая труба	бывшая в употреблении
Стальные бесшовные	0.04	0.1
Сварные	0.06	0.15
Оцинкованные	0.15	0.30
Чугунные	0.4	0.1
Бетонные и железобетонные	0.6	1.3

Таблица 4

Расчетные формулы для определения коэффициента λ

Формулы	Область применения
$\lambda = \frac{64}{Re}$	ламинарное течение
$\lambda = \frac{Re^{0.25}}{4470}$	переход от ламинарного течения к турбулентному
$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	область гидравлически гладких труб
$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{63}{Re} \right)^{0.25}$	область перехода от гидравлически гладких труб к гидравлически шероховатым (квадратичная область)
$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0.25}$	область гидравлически шероховатых труб (квадратичная)

Таблица 5

Значение поправки Ψ на неквадратичность

Ψ	V , m/s	0.4	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
	$k_s = 0.1$	1.23	1.24	1.14	1.1	1.08	1.05	1.04	1.03
	$k_s = 1$	1.04	1.03	1.05	1.01	1.01	1.04	1.0	1.0

Таблица 6

Зависимость коэффициента расхода водорода Бентури μ от числа Рейнольдса (при $\frac{d_1}{d_2} = 0.5$)

Re	1000	2000	4000	6000	10000	20000	40000	300000	$1 \cdot 10^7$
μ	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99

Таблица 9

Среднее значение коэффициента фильтрации K и коэффициента откоса (заложение откоса) m различных грунтов.

Наименование грунтов	$K \cdot 10^{-5}$, м/с	m
Мелкозернистые песчаные	3,5	3,0
Среднезернистые песчаные	12	2,5
Крупнозернистые песчаные	40	2,5
Среднеплотные супеси	0,20	2,0
Плотные супеси	0,09	1,75
Среднеплотные суглинки	0,12	1,5
Плотные суглинки	0,025	1,25
Глины среднеплотные	0,012	1,15

Таблица 10

Значения коэффициентов шероховатости n стенок каналов

Тип стенок канала	n
Земляные каналы в песках, супесях, суглинках в хороших условиях эксплуатации	0,0225
в средних условиях эксплуатации	0,0275
Бетонированные каналы	0,014
Грубая бетонировка	0,017

Таблица 8

Расчетные формулы для определения коэффициентов местных сопротивлений при внезапном изменении сечения потока.

Схема сопротивления	Формула
Внезапное расширение трубопровода	$\zeta_p = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$
 a	
Внезапное сужение трубопровода	$\zeta_c = 0,5 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$
 b	

ГИДРАВЛИКА

Методические указания и задания к
контрольным работам для студентов
заочного инженерного факультета

Составитель: И.Н.Киселев Р.С.Коломова

Редактор: Н.Х.Михайлова

Редакционно-издательский отдел
Казанской государственной архитектурно-строительной академии
Лицензия ЛР № 020379 от 22.01.92г.

Подписано в печать 21.05.95 г. Формат 60x84/16
Заказ 240 Тираж 100 экз. Усл.печ.л. 1,95
Бумага тип. № 2 Печать офсетная Уч.-изд.л. 1,95

Печатно-множительный отдел КГАСА
Лицензия ПД № 0229 от 26.12.2000г.
420043, Казань, Зеленая, 1