

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

23/13/2

Одобрено кафедрой
«Теплотехника и гидравлика
на железнодорожном
транспорте»

Утверждено
деканом факультета
«Транспортные сооружения
и здания»

**Решения задач размещены
на сайте zadachi24.ru**

ГИДРАВЛИКА

Рабочая программа
и задания на контрольные работы № 1 и 2
с методическими указаниями
для студентов III курса

специальностей
290900 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО (С)
291100 МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)



Рецензент — канд. техн. наук, доц. А.И. МАЛЬЦЕВ

© Российский государственный открытый технический
университет путей сообщения Министерства путей сообщения
Российской Федерации, 2004

Канд. техн. наук, доц. ЕЛМАНОВА В.И.

ГИДРАВЛИКА

Рабочая программа
и задания на контрольные работы № 1 и 2
с методическими указаниями

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

Тип. зак. Изд. зак. 116 Тираж 2 000 экз.
Подписано в печать 23.04.04 Гарнитура Times. Офсет
Усл. печ. л. 3,0 Формат 60×90¹/₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Гидравлика является фундаментальной дисциплиной, изучающей законы движения жидкостей и применение этих законов для решения инженерных задач.

Конкретная цель подготовки специалистов по дисциплине — изучение законов движения жидкости, форм движения жидкости для расчета размеров водопропускных сооружений и для регулирования потока и русловых процессов на пересечениях трассы железной дороги с водотоками.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Изучив дисциплину, студент должен:

1.2.1. Знать законы движения жидкости; физическую сущность явлений, изучаемых гидравликой; формы движения жидкости и уравнения, которыми они описываются; методы исследования взаимодействия потоков с руслами и сооружениями; особенности движения воды в инженерных сооружениях железных дорог.

1.2.2. Уметь определять главные размеры водопропускных сооружений железных дорог на основе гидравлического обоснования их проектирования; вести гидравлические расчеты равномерного и неравномерного движения жидкости; рассчитывать сопряжение бьефов и гашение энергии потока; проводить расчеты всех водопропускных сооружений (подводящих и отводящих русел, мостов, труб, косогорных сооружений и пр.), размывов в нижних бьефах дорожных труб.

1.2.3. Иметь представление о гидравлической надежности водопропускных сооружений, гидравлическом обосновании процессов стока с малых водосборов.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение

Предмет гидравлики. Значение гидравлики в строительстве железных дорог. Краткая история развития гидравлики.

Основные физические свойства жидкостей. Понятие о вязкой и невязкой жидкостях. Внутреннее трение в жидкости. Единицы измерения вязкости жидкости. Силы, действующие в жидкости.

2.2. Гидростатика

Гидростатическое давление и его свойства. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Основное уравнение гидростатики и его геометрический и энергетический смысл. Закон Паскаля. Абсолютное, избыточное, вакуумметрическое давления, пьезометрическая высота.

Сила давления жидкости на плоскую поверхность. Центр давления. Эпюры давления и их применение для определения силы и центра давления на плоскую прямоугольную поверхность.

Сила давления жидкости на криволинейную поверхность.

2.3. Основы гидродинамики

Основные понятия гидродинамики: поток, расход, живое сечение, местная и средняя скорости, смоченный периметр, гидравлический радиус. Виды движения жидкости: установившаяся и неустановившаяся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное, плавно изменяющееся и неплавно изменяющееся.

Уравнение неразрывности потока жидкости в гидравлической форме (уравнение постоянства расхода).

Полный гидродинамический напор, геометрический и физический смысл всех его составляющих. Коэффициент кинетической энергии. Уравнение Бернулли для потока жидкости. Связь между скоростью и гидродинамическим давлением. Графическое представление уравнения Бернулли. Пье-

зометрическая и напорная линии. Принцип действия гидрометрической трубы.

2.4. Гидравлические сопротивления

Режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный.

Виды гидравлических сопротивлений: местные и по длине. Зависимость потери напора от режима движения жидкости. Формула Дарси. Зоны сопротивления. Формула Шези. Связь между коэффициентом Дарси f_D и коэффициентом Шези C_S . Определение потерь напора в местных сопротивлениях.

2.5. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Истечение жидкостей из отверстий и насадок при постоянном напоре. Коэффициенты расхода, скорости и сжатия при истечении из отверстий и насадок.

Истечение жидкости при переменном напоре. Расчет времени наполнения и опорожнения резервуаров и водохранилищ.

2.6. Движение жидкости в напорных трубопроводах

Понятие о коротких и длинных, простых и сложных трубопроводах.

Основные задачи по расчету простых длинных трубопроводов. Основная формула и таблицы для гидравлического расчета труб. Определение расхода, потери напора, диаметра трубы.

Расчет сложных трубопроводов при последовательном и параллельном соединении труб.

Расчет трубопроводов при непрерывных и транзитных расходах жидкости.

Теория Н.Е. Жуковского о гидравлическом ударе в трубах и меры борьбы с ним.

2.7. Равномерное движение жидкости в открытых руслах

Уравнение равномерного движения жидкости. Основные формы поперечных сечений каналов. Гидравлические элемен-

ты поперечных сечений каналов. Основные расчетные формулы. Основные типы задач по гидравлическому расчету каналов. Показательный закон, гидравлический показатель русла. Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала.

Особенности расчета водоотводных каналов. Гидравлический расчет замкнутых безнапорных труб.

2.8. Установившееся неравномерное движение жидкости в открытых руслах

Неравномерное движение жидкости в открытых руслах. Удельная энергия сечения. График удельной энергии сечения, критическая глубина. Спокойное, бурное и критическое состояние потока. Определение критической глубины и критического уклона. Число Фруда.

Дифференциальное уравнение установившегося, неравномерного, плавно изменяющегося движения жидкости в призматическом русле и его анализ. Исследование форм свободной поверхности жидкости при неравномерном ее движении в открытом призматическом русле. Построение кривых свободной поверхности в призматических руслах по способу Б.А. Бахметева.

Гидравлический прыжок. Расчет сопряжения бьефов.

2.9. Водосливы и сопряжение бьефов

Классификация водосливов. Водослив с тонкой стенкой. Водосливы практического профиля. Теория водослива с широким порогом.

2.10. Движение грунтовых вод

Основной закон ламинарной фильтрации. Определение коэффициента фильтрации. Тurbулентная фильтрация. Расчет фильтрующих насыпей.

2.11. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений

Гидравлическая классификация дорожных труб и форм движения воды в них. Применение теории водослива с широким по-

рогом к расчету отверстий безнапорных труб и малых мостов.

Гидравлика потока в отводящих руслах труб. Размывы и гашение энергии потока в нижних бьефах дорожных труб.

Определение водопропускной способности труб и малых мостов по данным натурных обследований.

Гидравлическая надежность водопропускных сооружений.

3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Измерение избыточного и вакуумметрического давления.

Определение числа Рейнольдса и режима движения жидкости.

Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли.

Определение коэффициентов местных сопротивлений.

Определение коэффициентов гидравлического трения в трубе при различных скоростях движения воды с построением графика $\lambda = f(Re)$.

Определение гидравлических характеристик при истечении воды через незатопленное отверстие в тонкой стенке и внешний цилиндрический насадок.

Определение коэффициента расхода водомера Вентури.

Тарирование диафрагмы.

Определение коэффициента расхода неподтопленного водо-

слива с широким порогом при различных значениях $\frac{\delta}{H}$ с по-

строением свободной поверхности для одного значения $\frac{\delta}{H}$.

Экспериментальное определение параметров совершенно-
го гидравлического прыжка.

Сопряжение бьефов.

Определение коэффициента фильтрации для мелкозерни-
стого грунта (ламинарная фильтрация).

Определение коэффициента фильтрации для крупнозерни-
стого грунта (турбулентная фильтрация).

Экспериментальное определение параметров соверши-
тельно гидравлического прыжка.

Сопряжение бьефов.

Общие указания

В настоящих методических указаниях приведены задания на контрольные работы № 1 и 2 по гидравлике для студентов специальностей С и МТ дисциплины «Гидравлика».

Первая контрольная работа содержит пять задач из общего курса гидравлики, вторая включает две задачи по расчету каналов и дорожных водопропускных сооружений. Для каждой задачи дано десять вариантов цифровых исходных данных. Номер варианта выбирается студентом по последней цифре его шифра.

Перед решением задачи студент должен проработать соответствующий раздел курса по учебнику (см. список литературы).

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие условия:

1. Работу следует писать от руки чернилами на одной стороне листа. Это необходимо для рецензирования и исправлений. Страницы должны быть пронумерованы.

2. Решение задач вести поэтапно с пояснением каждого действия.

3. Перед вычислением искомых величин следует вначале написать расчетную формулу в буквенном выражении, дать пояснение всем входящим в нее параметрам, затем подставить их численные значения и привести окончательный ответ.

4. У всех размерных величин должна быть проставлена размерность в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 986761).

5. Значения всех коэффициентов следует обосновать ссылкой на литературу с указанием автора, названия источника, года издания и номера страницы.

6. Чертежи к работе следует выполнять на миллиметровке и вклеивать или вшивать в работу.

7. При построении расчетных графиков нужно указать величины, откладываемые по осям графика, с обозначением их размерностей.

8. В конце работы необходимо привести список литературы, которой пользовался студент в процессе выполнения работы, с указанием автора, названия, места и года издания.

9. Все отмеченные рецензентом ошибки должны быть исправлены, а сделанные указания выполнены. Исправлять ошибки следует отдельно по каждой задаче на чистой стороне листа.

Работы, выполненные в соответствии с вышеуказанными требованиями, студент должен выслать (вместе или отдельно) в университет для их проверки.

При решении задач следует строго следить за соблюдением единства размерностей величин, входящих в ту или иную расчетную зависимость. Как показывает практика рецензирования контрольных работ, несоблюдение единства размерностей является одной из наиболее частых ошибок, допускаемых студентами-заочниками, и приводит к грубому искажению получаемой расчетной величины и всего результата в целом.

Работа может быть зачтена только в том случае, если она не содержит принципиальных и грубых арифметических ошибок. Арифметические ошибки, вызванные несоблюдением единства размерностей или какой-либо небрежностью при расчетах, будут оценены наравне с принципиальными ошибками методического характера.

К экзамену по теории курса студента допускают после получения им зачета по всем контрольным и лабораторным работам, которые он должен выполнить в лаборатории университета.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Задача 1

В боковой вертикальной стенке резервуара есть прямоугольное отверстие с размерами a и b , перекрываемое плоским щитом, шарнирно закрепленным верхней стороной на горизонтальной оси, вокруг которой он может вращаться против часовой стрелки (рис. 1).

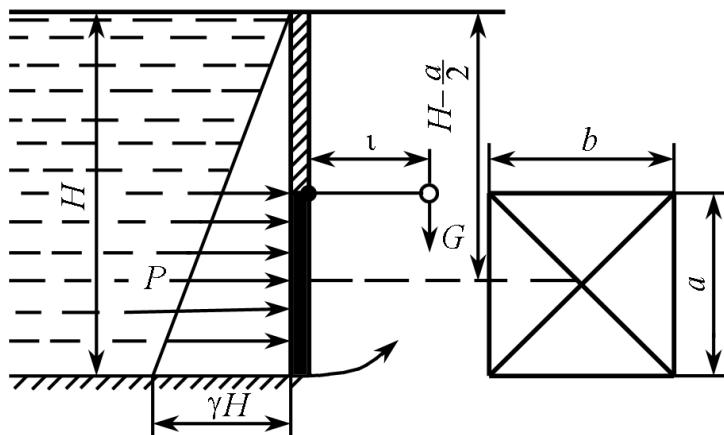


Рис. 1

Требуется определить вес груза G на конце рычага длиной l , жестко прикрепленного к щиту, который позволил бы щиту открываться при достижении водой в резервуаре уровня H .

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a , м	0,4	0,6	0,5	0,8	0,7	0,9	1,0	0,6	0,5	0,4
b , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,9	1,0	0,7	0,6	0,6
H , м	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	4,5	3,0	2,5	3,0
l , м	1,0	1,0	1,1	1,3	1,2	1,5	1,5	1,1	1,0	1,1

Указания к решению задачи 1

Необходимо найти величину и точку приложения силы избыточного гидростатического давления на щит, после чего приравнять момент силы P относительно оси вращения при достижении водой уровня H врачающему моменту от веса груза G и из этого равенства найти искомый вес груза G .

Задача 2

В плоской вертикальной стенке резервуара, наполненного водой, есть прямоугольное отверстие высотой a и шириной b ,

перекрываемое полуцилиндрической крышкой ABC (рис. 2). Верхняя кромка этого отверстия находится на глубине H под уровнем воды в резервуаре.

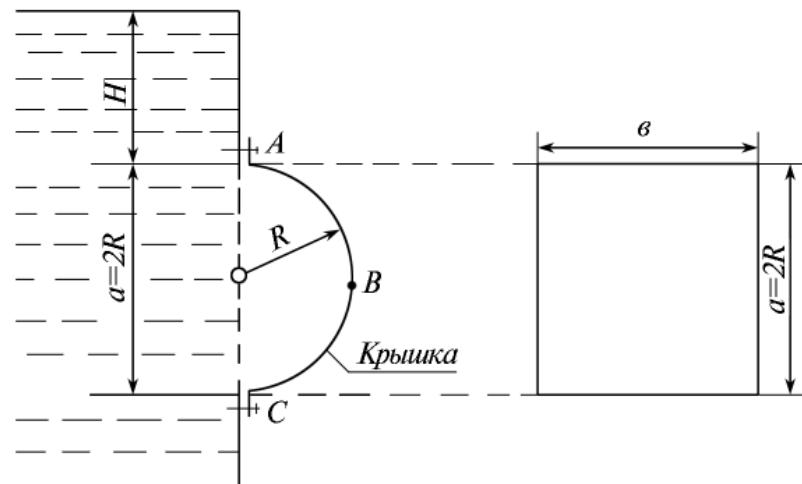


Рис. 2

Определить величину и линию действия силы избыточного гидростатического давления, действующей на цилиндрическую поверхность крышки ABC .

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	4	3	5	6	3	4	5	6	4	5
R , м	0,5	1,0	0,75	0,6	0,75	0,6	0,70	1,0	0,75	0,5
b , м	1,0	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	2,4	2,5	2,0	1,5

Указания к решению задачи 2

Суммарную силу избыточного давления воды на цилиндрическую поверхность определяют по формуле

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2},$$

где P_x — горизонтальная составляющая силы избыточного гидростатического давления;

P_y — вертикальная составляющая силы избыточного гидростатического давления.

Горизонтальная составляющая силы избыточного гидростатического давления равна силе давления на вертикальную проекцию цилиндрической поверхности:

$$P_x = \gamma y_{um} \omega_y,$$

где γ — объемный вес воды; $\gamma \approx 10 \frac{\text{kH}}{\text{m}^3}$;

y_{um} — расстояние по вертикали от центра тяжести вертикальной проекции цилиндрической поверхности до уровня воды;

ω_y — площадь вертикальной проекции цилиндрической поверхности.

Вертикальную составляющую силы избыточного гидростатического давления определяют по формуле

$$P_y = \gamma W,$$

где W — объем тела давления.

Иными словами, вертикальная составляющая силы давления равна весу жидкости в объеме тела давления.

Тело давления представляет собой объем, расположенный над цилиндрической поверхностью и заключенный между вертикальными плоскостями, проходящими через крайние образующие цилиндрической поверхности, самой цилиндрической поверхностью и свободной поверхностью воды. Если тело давления расположено со стороны смачиваемой жидкостью поверхности (в теле давления находится вода), то оно положительно и сила P_y будет направлена вниз. Если тело давления находится со стороны, не смачиваемой жидкостью поверхности (в теле давления нет воды), то такое тело давления отрицательно и сила P_y будет направлена вверх.

В данной задаче для нахождения тела давления следует цилиндрическую поверхность ABC разделить на две: AB и BC; причем тело давления для поверхности AB будет отрицательным, а для BC — положительным.

Результирующий объем тела давления на всю цилиндрическую поверхность ABC и его знак находятся путем алгебраического суммирования тел давления на криволинейные поверхности AB и BC.

Суммарная сила избыточного гидростатического давления на цилиндрическую поверхность направлена по радиусу к центру цилиндрической поверхности под углом j к горизонту:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{P_y}{P_x}.$$

Задача 3

Из открытого резервуара, в котором поддерживается постоянный уровень, по стальному трубопроводу (эквивалентная шероховатость $k_s = 0,1 \text{ мм}$), состоящему из труб различного диаметра d и различной длины l , вытекает в атмосферу вода, расход которой Q , температура $t^\circ\text{C}$ (рис. 3).

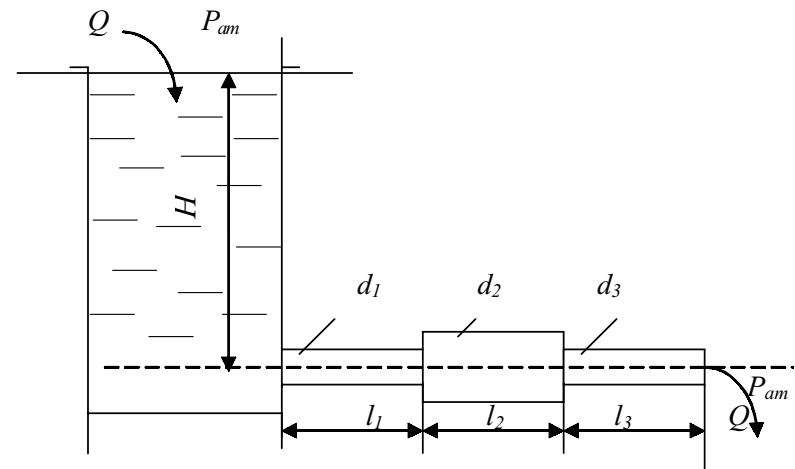


Рис. 3

Требуется:

1. Определить скорости движения воды и потери напора (по длине и местные) на каждом участке трубопровода.
2. Установить величину напора H в резервуаре.
3. Построить напорную и пьезометрическую линии на всех участках трубопровода.

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , л/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
d_1 , мм	20	32	75	32	25	75	100	50	100	50
d_2 , мм	15	50	50	50	50	100	75	100	50	75
d_3 , мм	20	32	25	25	75	50	50	50	100	100
l_1 , м	0,5	0,8	1,2	1,4	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	3,0
l_2 , м	0,5	0,8	1,2	1,4	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	3,0
l_3 , м	0,5	0,8	1,2	1,4	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	3,0
t °C	10	20	30	40	50	40	30	20	10	30

Указание к решению задачи 3

Эту задачу решают на основе применения уравнения Д. Бернулли. Для плавно изменяющегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1 к сечению 2, уравнение Д. Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2},$$

где z_1 и z_2 — расстояния от произвольно выбранной горизонтальной плоскости сравнения до центров тяжести живых сечений 1 и 2;

p_1 и p_2 — давления в центрах тяжести живых сечений 1 и 2; v_1 и v_2 — средние скорости движения жидкости в живых сечениях 1 и 2;

α_1 и α_2 — коэффициенты кинетической энергии (коэффициенты Кориолиса) — поправочные коэффициенты,

представляющие собой безразмерную величину, равную отношению истинной кинетической энергии потока в рассматриваемом сечении к кинетической энергии, посчитанной по средней скорости. Для турбулентного режима движения значение α можно принять равным 1;

h_{1-2} — потери напора на преодоление сил сопротивления при движении потока от сечения 1 до сечения 2;

$\gamma = \rho g$ — удельный вес жидкости;

ρ — плотность жидкости;

g — ускорение свободного падения.

Решение задачи выполняют в следующем порядке:

1. Составляют уравнение Д. Бернулли в общем виде для сечений 0–0 и 3–3. Сечение 0–0 совпадает со свободной поверхностью жидкости в резервуаре, сечение 3–3 — выходное сечение. При написании уравнения Д. Бернулли следует помнить, что индексы у всех членов уравнения должны быть одинаковыми с названием сечений, к которым они относятся. Например, величины, относящиеся к сечению 0–0, следует обозначить z_0 , p_0 , α_0 , v_0 .

2. Намечают горизонтальную плоскость сравнения. При горизонтальном трубопроводе в качестве таковой берут плоскость, проходящую по оси трубопровода. После этого устанавливают, чему равно каждое слагаемое, входящее в уравнение Д. Бернулли, применительно к условиям решаемой задачи. Например, $z_0 = H$ (искомая величина напора в резервуаре); $p_0 = p_a$ (атмосферное давление); $v_0 = 0$ (скорость движения воды в резервуаре) и т. д.

3. После подстановки всех найденных величин в уравнении Д. Бернулли и после его преобразования записывают расчетное уравнение в буквенном выражении для определения искомой величины H .

4. Определяют скорость движения воды на каждом участке.

5. По скоростям движения воды вычисляют числа Рейнольдса и устанавливают режим движения на каждом участке.

стке. Значение кинематического коэффициента вязкости следует взять из прил. 1.

6. Определяют потери напора по длине каждого участка (h_l_1 , h_l_2 , h_l_3) и в каждом местном сопротивлении: вход в трубу из резервуара h_{ex} , внезапное расширение h_{wp} и внезапное сужение h_{sc} .

Потери напора по длине следует определять по формуле Дарси:

$$h_l = \lambda \frac{lv^2}{d^2 g},$$

где l — длина расчетного участка;

d — диаметр трубопровода;

v — средняя скорость движения потока на рассматриваемом участке;

λ — коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси), учитывающий влияние на потерю напора по длине вязкости жидкости и шероховатости стенки трубы; его определяют по различным формулам в зависимости от зоны (области) сопротивления, в которой работает трубопровод.

При значении критерия зоны турбулентности $\frac{vk_3}{v} < 10$

трубопровод работает в зоне гидравлически гладких труб, и значение λ следует определять по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}},$$

где $Re = \frac{vd}{v}$ — число Рейнольдса;

v — кинематический коэффициент вязкости, определяемый в зависимости от температуры по прил. 1.

При $10 \leq \frac{vk_3}{v} \leq 500$ трубопровод работает в переходной зоне сопротивления, в которой λ определяют по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

При $\frac{vk_3}{v} > 500$ имеет место квадратичная зона сопротивления, и значение λ определяют по формуле Шифрисона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} \right)^{0,25}.$$

Потери напора в местных сопротивлениях вычисляют по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

где v — средняя скорость за данным сопротивлением;

ζ — безразмерный коэффициент местного сопротивления (берут по справочнику).

При вычислении потери напора на входе в трубу коэффициент местного сопротивления $\zeta_{bx} = 0,5$. Значение коэффициента местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода

$$\zeta_{bc} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right),$$

где ω_1 — площадь широкого сечения трубы;

ω_2 — площадь узкого сечения трубы.

Потерю напора при внезапном расширении трубопровода можно определить по формуле Борда:

$$h_{bp} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g},$$

где v_1 и v_2 — средние скорости течения соответственно до и после расширения.

После определения потерь напора по длине и в местных сопротивлениях вычисляют искомую величину — напор H в резервуаре.

Строят напорную линию. Напорная линия показывает, как

$$\text{изменяется полный напор } H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}, \text{ (полная удельная}$$

энергия) по длине потока. Значения H откладывают от осевой линии трубопровода.

При построении напорной линии нужно вертикалями выделить расчетные участки. Таких участков в данной задаче будет три. Далее в произвольно выбранном вертикальном масштабе откладывают от осевой линии величину найденного уровня жидкости в резервуаре H . Проводя по этому уровню горизонтальную линию, получаем линию исходного (первоначального) напора. От уровня жидкости в резервуаре по вертикали, отвечающей сечению при входе жидкости в трубопровод, откладывают в масштабе вниз отрезок, равный потери напора при входе жидкости в трубу (потеря напора в местном сопротивлении).

На участке l_1 имеет место потеря напора по длине трубопровода h_{l_1} . Для получения точки, принадлежащей напорной линии в конце участка l_1 , нужно от линии полного напора после входа жидкости в трубу отложить по вертикали в конце участка l_1 вниз в масштабе отрезок, соответствующий потере напора на участке l_1 . Затем от точки полного напора в конце участка l_1 откладывается в масштабе по вертикали отрезок, соответствующий потере напора в местном сопротивлении (внезапное расширение или сужение), и так до конца трубопровода. Соединяя точки полного напора, получим напорную линию.

Пьезометрическая линия показывает, как изменяется пьезометрический напор $z + p/\gamma$ (удельная потенциальная энергия) по длине потока. Удельная потенциальная энергия меньше полной удельной энергии на величину удельной кинетической энергии $\alpha v^2/2g$. Поэтому, чтобы построить пьезометрическую

линию, нужно вычислить на каждом участке величину $\alpha v^2/2g$ и отложить ее числовое значение в масштабе вниз по вертикали от напорной линии. Откладывая соответствующие значения $\alpha v^2/2g$ в начале и в конце каждого участка и соединяя полученные точки, строим пьезометрическую линию.

График напорной и пьезометрической линий будет построен правильно в том случае, если при их построении были выдержаны принятые вертикальный и горизонтальный масштабы, а также верно вычислены все потери напора и все скоростные напоры $\alpha v^2/2g$.

Для того чтобы проверить правильность построения напорной и пьезометрической линий, необходимо помнить следующее:

1. Напорная линия вниз по течению всегда убывает. Нигде и никогда напорная линия не может вниз по течению возрастать.

2. Поскольку потеря энергии потока на трение зависит от скорости движения жидкости, интенсивность потери напора (потеря напора на единицу длины или гидравлический уклон) будет больше на том участке, где скорость больше. Следовательно, на участках с меньшими диаметрами и большими скоростями наклон напорной и пьезометрической линий будет больше.

3. В отличие от напорной, пьезометрическая линия может вниз по течению как убывать, так и возрастать (при переходе с меньшего сечения на большее).

4. В пределах каждого участка пьезометрическая линия должна быть параллельна напорной, поскольку в пределах каждого участка постоянна величина $\alpha v^2/2g$.

5. На тех участках, где скорость больше, расстояние между напорной и пьезометрической линией больше.

6. Как бы ни изменялась пьезометрическая линия по длине потока, при выходе его в атмосферу (свободное истечение) она неизбежно должна приходить в центр тяжести выходного сечения. Это происходит потому, что пьезометрическая линия показывает изменение избыточного давления по длине трубопровода, которое в выходном сечении равно нулю.

После построения напорной и пьезометрической линий на графике показывают все потери напора и все скоростные напоры с указанием их численных значений. Примерный вид графика приведен на рис. 4.

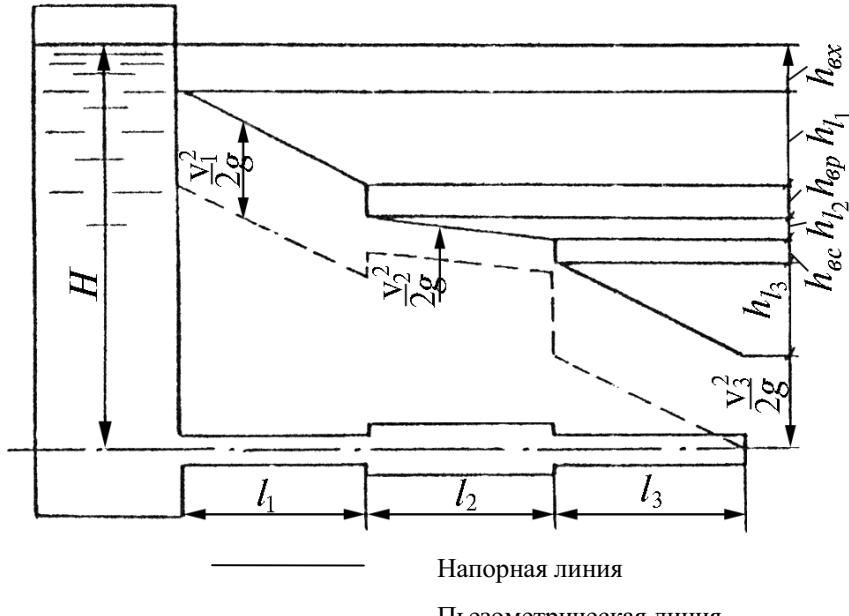


Рис. 4

Задача 4

Горизонтальный трубопровод из стальных труб, схема которого показана на рис. 5, имеет участок с параллельным соединением труб, состоящим из двух линий длиной l_1 и l_2 и диаметрами d_1 и d_2 . В точках B , C и D заданы расходы воды Q_B , Q_C и Q_D .

Требуется:

1. Установить диаметры труб на участках AB и CD по предельным расходам.

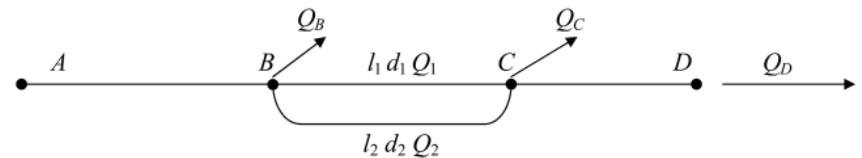


Рис. 5

2. Определить распределение расходов по первой и второй линиям параллельного соединения трубопроводов.

3. Определить необходимый напор в точке A для обеспечения заданных расходов Q_B , Q_C и Q_D при заданном свободном напоре (превышении пьезометрической линии над поверхностью земли) в конце трубопровода H_{ce} , если известны длины участков AB и CD .

4. Построить пьезометрическую линию по длине трубопровода.

Указания к решению задачи 4

Решение задачи рекомендуется выполнять в следующем порядке.

1. Подсчитывают расчетные расходы на каждом участке. При этом следует помнить, что расчетный расход на участке равен сумме узловых расходов, расположенных за данным участком (по направлению движения воды).

2. По предельным расходам, приведенным в прил. 2, определяют диаметры труб на участках AB и CD .

3. Зная общий расход, проходящий по участку с параллельным соединением трубопроводов, а также длины l_1 и l_2 и диаметры d_1 и d_2 каждой линии этого участка, определяют потерю напора в параллельно соединенных трубопроводах.

Параллельным соединением трубопроводов называется такое соединение, когда две или более линий трубопровода имеют общие начальную и конечную точки.

Расчет параллельного соединения трубопроводов основан на двух положениях:

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_1, \text{ м}$	300	500	200	600	400	200	300	800	600	150
$l_2, \text{ м}$	400	800	500	900	1000	600	400	1200	700	300
$l_{AB}, \text{ м}$	600	1000	500	1200	400	500	300	1000	1200	300
$l_{CD}, \text{ м}$	600	1500	500	900	400	200	300	1200	600	600
$d_1, \text{ мм}$	100	150	150	125	150	100	150	100	125	150
$d_2, \text{ мм}$	100	125	100	75	100	100	150	50	125	100
$Q_B, \text{ л/с}$	7	5	20	4	3	30	5	14	5	8
$Q_C, \text{ л/с}$	20	46	36	20	43	24	40	14	40	50
$Q_D, \text{ л/с}$	5	9	6	10	17	6	15	4	8	5
$H_{ce}, \text{ м}$	10	22	18	14	26	30	18	26	14	22

$h_{l_1} = h_{l_2} = \dots = h_{l_n}$ (потери напора на всех параллельно соединенных участках одинаковы) и $Q_1 + Q_2 = Q_{BC}$ (суммарный расход, проходящий по участкам параллельного соединения трубопроводов).

С другой стороны по формуле Шези имеем:

$$Q = K \sqrt{i} = K \sqrt{\frac{h_l}{l}},$$

где K — расходная характеристика (модуль расхода) трубы (прил. 3).

Следовательно,

$$K_1 = \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_1}} + K_2 \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_2}} = \sqrt{h_{BC}} \left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \right) = Q_{BC},$$

где K_1 и K_2 — расходные характеристики труб на участках 1 и 2, определяемые по прил. 3;

l_1 и l_2 — длины участков 1 и 2.

Отсюда потеря напора на участке с параллельным соединением труб:

$$h_{BC} = \frac{Q_{BC}^2}{\left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \right)^2}.$$

4. Затем вычисляют расходы, проходящие по каждой линии параллельного соединения:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_1}}; \quad Q_2 = K_2 \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_2}}$$

и выполняют проверку:

$$Q_1 + Q_2 = Q_{BC}.$$

5. Определяют потери напора на участках AB и CD :

$$h_l = \frac{lQ^2}{K^2}.$$

6. Зная заданный свободный напор в точке D , а также потери напора на каждом участке, определяют значения напоров в точках C , B и A :

$$H_C = H_{ce} + h_{CD};$$

$$H_B = H_C + h_{BC};$$

$$H_A = H_B + h_{AB},$$

где h_{CD} , h_{BC} , h_{AB} — ранее вычисленные потери напора на каждом участке.

7. По полученным значениям напоров в точках A , B , C и D строят пьезометрическую линию.

Задача 5

Определить расход воды Q , проходящей через водоспускную трубу в бетонной плотине, если: напор над центром трубы H , диаметр трубы d , длина ее l (рис. 6).

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{ м}$	12	9	8	8	11	9	12	9	12	11
$d, \text{ м}$	1,0	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5	1,75	1,75	2,0	2,0
$L, \text{ м}$	7	5	3	8	4	6	5	7	12	8

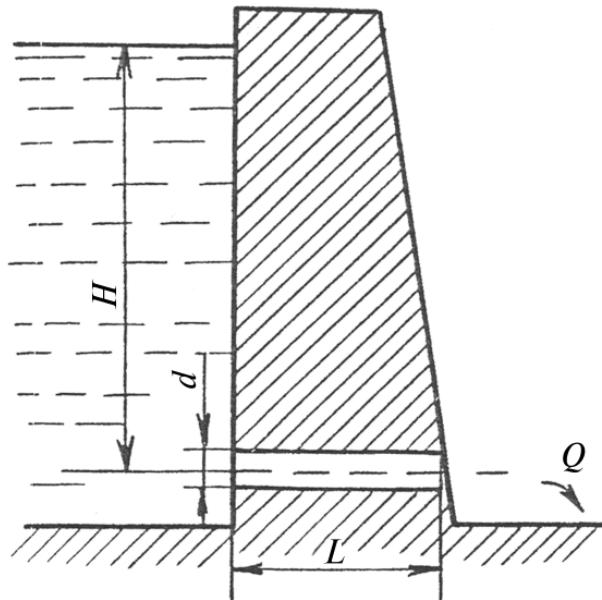


Рис. 6

Указания к решению задачи 5

Расход воды, проходящий через водоспускную трубу, определяют по формуле

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где μ — коэффициент расхода;

ω — площадь сечения трубы, м^2 ;

g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

H — напор над центром трубы, м.

Для определения коэффициента расхода μ следует выяснить, как работает водоспускная труба: как насадок, как отверстие или как «короткий трубопровод».

Чтобы труба работала как насадок, должны быть соблюдены одновременно два условия:

1. Длина трубы должна быть:

$$4d \leq L \leq 6d.$$

Максимальный вакуум $H_{\text{вак}}^{\max}$ в насадке должен быть меньше $H_{\text{вак}}^{\max} = 8$ м вод. ст. Значение $H_{\text{вак}}^{\max}$ вычисляют по формуле

$$H_{\text{вак}}^{\max} = 0,8H,$$

где H — напор над центром трубы.

Если эти условия соблюдены, водоспускная труба будет работать как насадок, для которого коэффициент расхода $\mu = 0,82$.

Если одно из перечисленных условий не будет выполняться ($L < 4d$ или $H_{\text{вак}}^{\max} > 8$ м), то водоспускная труба будет работать как отверстие, и коэффициент расхода μ будет равен 0,62.

При длине трубы $L > 6d$ следует, помимо потерь напора в местных сопротивлениях, учитывать потери напора по длине, т.е. рассчитывать водоспускную трубу как «короткий трубопровод».

Коэффициент расхода в этом случае следует определить по формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{вх}} + \lambda \frac{L}{d}}},$$

где λ — коэффициент гидравлического трения, $\lambda = 0,02$;

$\zeta_{\text{вх}}$ — коэффициент местного сопротивления на входе, снабженным решеткой, принять $\zeta_{\text{вх}} = 1,5$.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Задача 1

Трапецеидальный канал с крутизной откосов m и коэффициентом шероховатости стенок $n = 0,025$, имеющий ширину по дну b , проложен с уклоном i (рис. 7).

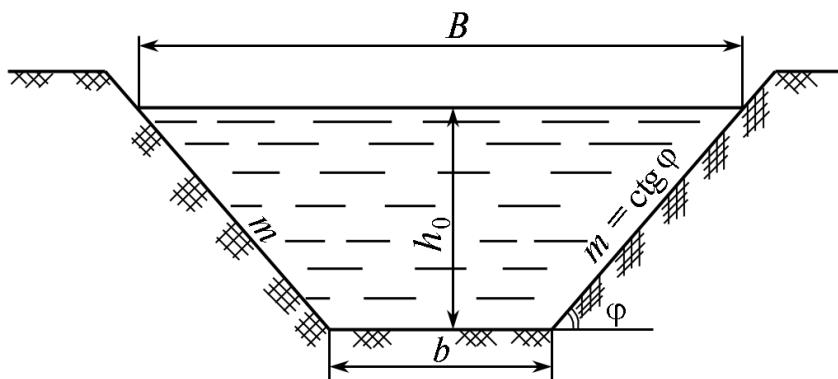


Рис. 7

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m	1	1,25	1,5	2,0	1,25	1	1,5	2	1	1,25
b , м	2	2,5	5	4	3	5	3,5	2	6	5,5
i	0,0001	0,0005	0,0004	0,001	0,0015	0,002	0,0025	0,003	0,0002	0,005
Q , $\text{м}^3/\text{с}$	12	14	16	15	10	30	18	10	17	20

Требуется определить:

- Глубину воды в канале при пропуске расхода Q .
- Ширину канала по верху (по урезу воды) B .
- Среднюю скорость движения воды v .
- Состояние потока (спокойное или бурное).
- Критический уклон дна канала i_k .
- Для найденного значения площади поперечного сечения найти гидравлически наивыгоднейшее сечение канала

(отношение $\frac{b}{h}$, соответствующее гидравлически наивыгоднейшему сечению).

- Определить пропускную способность найденного гидравлически наивыгоднейшего сечения.

Указания к решению задачи 1

Искомую глубину воды в канале при пропуске расхода Q можно определить двумя способами: методом подбора по

формуле Шези и с помощью гидравлического показателя русла.

Метод подбора заключается в следующем. Задаваясь различными значениями h , вычисляют последовательно площадь живого сечения потока $\omega = h(b + mh)$, длину смоченного периметра русла $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$, гидравлический радиус $R = \frac{\omega}{\chi}$, коэффициент Шези $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$, расходную характеристику $K = \omega C \sqrt{R}$ и расход $Q = K \sqrt{i}$.

Все вычисления сводят в таблицу.

h , м	ω , м^2	χ , м	R , м	C , $\text{м}^{0.5}/\text{с}$	K , $\text{м}^{3}/\text{с}$	Q , $\text{м}^3/\text{с}$	$\lg K$	$\lg h$	$\lg K_1 -$ $\lg K_2$	$\lg h_1 -$ $\lg h_2$	x

По данным таблицы строят график $h = f(Q)$, пользуясь которым по заданному значению Q определяют искомое значение h .

Второй способ заключается в использовании показательного закона, по которому

$$\left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^x,$$

где h_1 и h_2 — некоторые производительные глубины;

K_1 и K_2 — соответствующие этим глубинам расходные характеристики;

x — гидравлический показатель русла, характеризующий поперечное сечение русла, определяемый по формуле

$$x = 2 \frac{\lg K_1 - \lg K_2}{\lg h_1 - \lg h_2}.$$

Величину гидравлического показателя русла, вычисленную для нескольких пар глубин, записывают в сводную таблицу, далее на основании проведенных вычислений определяют среднее значение гидравлического показателя русла x , по которому, используя показательный закон, находят искомую глубину воды в канале.

$$h_0 = h_1 \left(\frac{K_0}{K_1} \right)^{\frac{2}{x}},$$

где h_1 — любая произвольная глубина воды в канале;
 K_1 — соответствующая этой глубине расходная характеристика;
 $K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i}}$ — заданное значение расходной характеристики (Q и i — заданные значения расхода и уклона).

Предлагается сравнить результаты, полученные первым и вторым способами.

После нахождения глубины определяют ширину канала по верху:

$$B = b + 2mh$$

и среднюю скорость движения воды:

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{h(b + mh)}.$$

Состояние потока может быть определено по одному из двух параметров: по критической глубине h_k или по безразмерному числу Фруда Fr .

При глубине потока $h > h_k$ поток находится в спокойном состоянии, при $h < h_k$ — в бурном.

При критической глубине должно соблюдаться равенство

$$\frac{\omega^3}{B_k} = \frac{\alpha Q^2}{g}.$$

Исходя из площади живого сечения потока ω , находят величины b и h , отвечающие гидравлически наивыгоднейшему сечению канала.

Зная b и h , по формуле Шези определяют пропускную способность гидравлически наивыгоднейшего сечения.

Задача 2

Дорожная насыпь, имеющая высоту $H_{нас}$, ширину земляного полотна $B = 12$ м и крутизну заложения откосов $m = 1,5$, пересекает водоток с переменным расходом, для пропуска которого в теле насыпи укладывают с уклоном i_t круглую железобетонную трубу, имеющую обтекаемый оголовок.

Требуется:

1. Подобрать диаметр трубы для пропуска максимального расчетного расхода Q_{max} в напорном режиме при допустимой скорости движения воды в трубе $v_{don} = 4$ м/с и минимально допустимом расстоянии от бровки насыпи до подпорного уровня $a = 0,5$ м.

2. Определить фактическую скорость движения воды в трубе v_ϕ при пропуске максимального расхода и глубину потока H перед трубой, соответствующую этому расходу.

3. Рассчитать предельные расходы и соответствующие им глубины перед трубой, при которых труба будет работать в безнапорном и полунапорном режимах.

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{max}, \text{м}^3/\text{с}$	4,5	6	8	3,9	14,5	3	12,8	1,7	9,6	5
$H_{нас}, \text{м}$	3,0	2,6	3,2	3,6	5,0	2,6	4,1	2,4	5,4	4,0
i_t	0,008	0,003	0,020	0,006	0,004	0,010	0,003	0,015	0,012	0,005

Указания к решению задачи 2

Водопропускные трубы под насыпями дорог (железных и автомобильных) служат для пропуска расходов воды периодически действующих водотоков во время ливневых или весенних паводков.

В настоящее время чаще всего применяются водопропускные трубы круглого сечения.

По числу отверстий трубы бывают одноочковые, двухочковые, трехочковые и многоочковые.

Согласно действующим типовым проектам, круглые дорожные водопропускные трубы имеют следующие стандартные отверстия: 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 и 2 м.

Одной из задач гидравлического расчета труб является определение необходимого диаметра труб. При этом считается, что пропускная способность многоочковых (двухочковых, трехочковых и т.д.) труб равна суммарной пропускной способности соответствующего количества одноочковых труб.

Гидравлические расчеты водопропускных труб выполняют в зависимости от условий их работы.

Различают следующие режимы работы труб:

1) безнапорный, когда входное сечение не затоплено и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность (рис. 8, а);

2) полунапорный, когда входное сечение трубы затоплено, т.е. на входе труба работает полным сечением, а на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность (рис. 8, б);

3) напорный, когда труба работает полным сечением, т.е. все поперечное сечение трубы по всей длине полностью заполнено водой (рис. 8, в).

Безнапорным режимом бывает при

$$H \leq 1,2d,$$

где H — напор (глубина) воды перед трубой;

d — диаметр трубы.

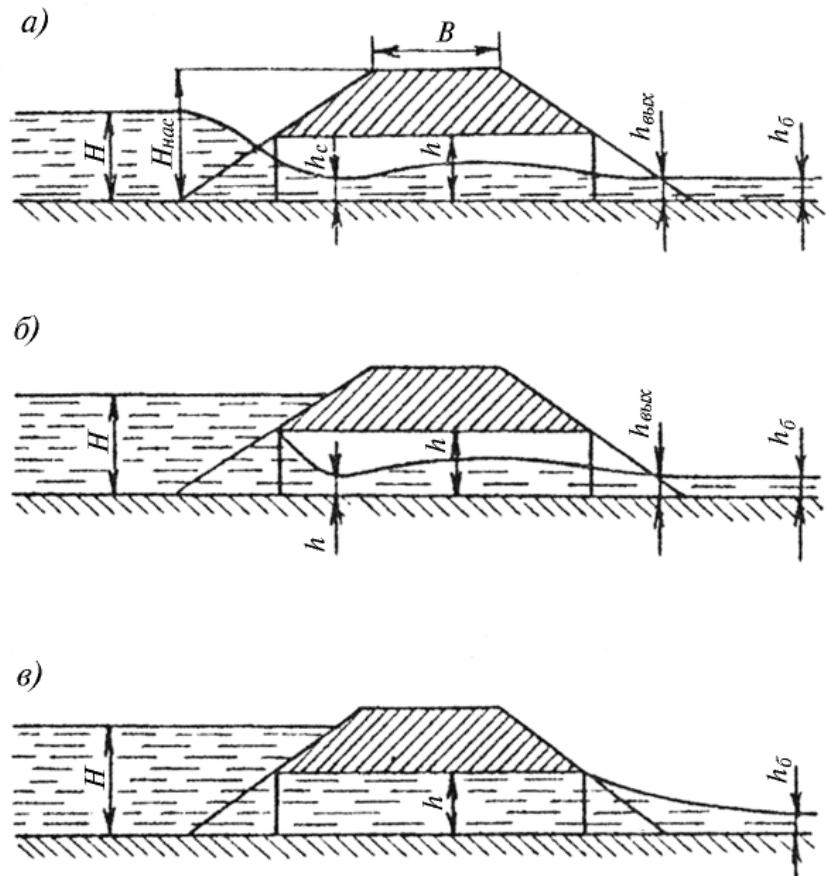


Рис. 8

Пропускная способность безнапорных труб может быть определена по формуле А.А. Угинчуса:

$$Q = \mu b_K \sqrt{2g} H^{3/2},$$

где μ — коэффициент расхода (принять $\mu = 0,335$);

b_K — средняя ширина потока в сечении с критической глубиной (определяют по графику, представленному на рис. 9).

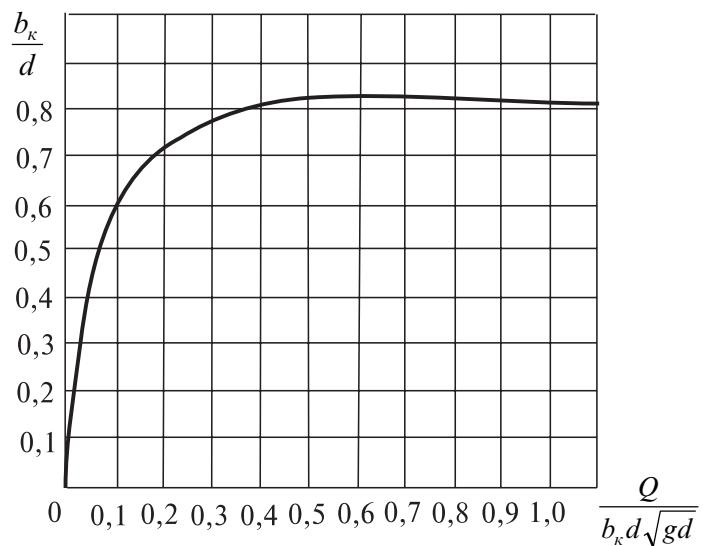


Рис. 9

Полунапорный режим бывает при условии $H > 1,2d$.

Пропускную способность полунапорных труб с учетом уклона дна определяют по формуле

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g[H - (0,708 - 2i_T)d]},$$

где μ — коэффициент расхода, зависящий от типа оголовка (для условий данной задачи принять $\mu = 0,7$);

ω — площадь сечения трубы;

d — диаметр отверстия трубы;

i_T — уклон дна трубы.

Пропускная способность полунапорных труб больше, чем безнапорных.

Напорный режим имеет место при одновременном выполнении трех условий:

- I) входной оголовок должен быть обтекаемым;
- 2) $H > 1,4d$;
- 3) $i_m < i$, где i — гидравлический уклон.

Пропускную способность напорных труб вычисляют по формуле

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g(H - i_T l - 0,85d)}.$$

Коэффициент расхода μ определяют зависимостью

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{bx} + \lambda \frac{l}{d}}},$$

где ζ_{bx} — коэффициент сопротивления на входе, для обтекаемых оголовков $\zeta_{bx} = 0,2$;

λ — гидравлический коэффициент трения (принять $\lambda = 0,025$);

l — длина трубы.

При напорном режиме трубы обладают наибольшей пропускной способностью.

В соответствии с вышеизложенным, задачу решают в следующем порядке.

Исходя из заданной допустимой скорости движения воды в трубе v_{don} , определяют площадь живого сечения потока

$$\omega = \frac{Q}{v_{don}} \text{ и диаметр напорной трубы.}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}}.$$

Найденный диаметр округляют до ближайшего большего стандартного значения d_{cm} (0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0 м) и вычисляют фактическую скорость движения воды:

$$v_\phi = \frac{Q}{\frac{\pi d_{cm}^2}{4}}.$$

Далее определяют длину трубы l . При ширине земляного полотна B , высоте насыпи H_{nac} и крутизне заложения ее откосов m длина трубы $l = 2H_{nac}m + B$.

После этого вычисляют значение коэффициента расхода:

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{BX} + \lambda \frac{\ell}{d}}}.$$

Затем определяют напор воды перед трубой:

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2 \omega^2 2g} + 0,85d + i_T \ell.$$

При этом должны быть выдержаны условия: $H > 1,4d$; $H \leq (H_{nac} - 0,5)$ и $i_t < i..$. Проверка последнего условия проводится на основании формулы Шези, $Q = \omega C \sqrt{Ri} = K \sqrt{i}$, откуда гидравлический уклон

$$i = \frac{Q^2}{K^2},$$

где K — расходная характеристика, $K = \omega C \sqrt{R}$, $\text{м}^3/\text{с}$;

C — коэффициент Шези, $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$;

n — коэффициент шероховатости, $n = 0,014$.

Верхний предел существования полунапорного режима определяют условием $H = 1,4d$. Соответствующий ему предельный расход, вычисляют по формуле

$$Q = \mu \sqrt{2g [1,4d - (0,708 - 2i_T)d]}.$$

Верхний предел существования безнапорного режима определяют условием $H = 1,2d$, а соответствующий ему расход

$$Q = \mu b_K \sqrt{2g} (1,2d)^{3/2}.$$

Для определения b_K вычисляют отношение $\frac{Q}{b_K} = \mu \sqrt{2g} H^{3/2}$,

затем находят значение безразмерного параметра $\frac{Q}{b_K d \sqrt{gd}}$,

после чего по графику $\frac{b_K}{d} = f\left(\frac{Q}{b_K d \sqrt{gd}}\right)$ (рис. 9) определяют

соответствующую этому параметру величину $\frac{b_K}{d}$ по которой определяют значения b_K .

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

Основные физические свойства жидкостей

- Назовите основные свойства жидкостей. Дайте определение каждому из них.
- Что называется сжимаемостью жидкостей? Напишите формулу для коэффициента объемного сжатия и раскройте его физический смысл.
- Что такое вязкость жидкости, чем она характеризуется и от чего зависит?
- Напишите формулу для силы внутреннего трения в жидкости (закон вязкости Ньютона). Раскройте физический смысл всех величин, входящих в эту формулу.
- Какой зависимостью связаны между собой динамический и кинематический коэффициенты вязкости жидкости? Выведите размерность этих коэффициентов.

Гидростатика

- Гидростатическое давление и его свойства. Виды гидростатического давления.
- Выполните основное уравнение гидростатики.
- В чем состоит закон Паскаля и какова его связь с основным уравнением гидростатики? Действие каких гидравлических установок основано на законе Паскаля?

9. Как определяют силу суммарного гидростатического давления жидкости на плоскую стенку? Что называется центром давления? Как расположен центр давления относительно центра тяжести смоченной поверхности стенки? Приведите формулу (с пояснением всех входящих в нее параметров), по которой определяют положение центра давления.

10. Как определяют силу давления на плоскую горизонтальную стенку? В чем заключается сущность «гидростатического парадокса»?

11. Как определяют горизонтальную и вертикальную составляющие силы давления на криволинейную (цилиндрическую) поверхность? Чему равна равнодействующая сила суммарного гидростатического давления на криволинейную (цилиндрическую) поверхность?

12. Выведите формулу для определения горизонтальной и вертикальной составляющих силы давления на цилиндрические криволинейные поверхности.

13. Как определить направление и точку приложения равнодействующей полного суммарного давления жидкости на криволинейную поверхность?

Основы гидродинамики

14. Виды движения жидкости. Дайте определение и приведите примеры основных видов движения жидкости.

15. В чем сущность уравнения неразрывности?

16. Дайте определение понятия полного гидродинамического напора в сечении. Дайте пояснение каждому члену, входящему в выражение полного гидродинамического напора: раскройте геометрический и энергетический смысл каждого члена, входящего в выражение полного напора. Какова размерность всех членов, составляющих полный гидродинамический напор?

17. Напишите уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Дайте пояснение каждому члену, входящему в это уравнение.

18. Выведите уравнение Бернулли.

19. На основе анализа уравнения Бернулли выведите взаимосвязь между скоростью и давлением.

20. Чем вызывается неравномерность распределения скоростей по сечению потока и как она учитывается в уравнении Бернулли?

21. Каков физический смысл коэффициента а в уравнении Бернулли для потока реальной жидкости? Чем он определяется?

22. Как можно упростить уравнение Бернулли для потока реальной жидкости при равномерном ее движении в напорных трубах и открытых руслах?

23. В чем состоит принцип работы водомера Вентури? Выведите формулу для определения расхода с помощью водометра Вентури.

24. Перечислите основные типы расходомеров и опишите принципы их работы.

25. Что такое гидравлический и пьезометрический уклоны? Когда гидравлический уклон совпадает с пьезометрическим?

26. Какой геометрический вид имеют напорная и пьезометрическая линии при равномерном движении? В каком случае эти линии сближаются и когда удаляются одна от другой?

27. Что такое гидравлический радиус, каково соотношение между ним и диаметром трубы? Приведите известные Вам расчетные формулы, в которые входит гидравлический радиус.

Гидравлические сопротивления

28. Какие режимы движения жидкости встречаются в природе? Дайте краткую характеристику этим режимам движения. Как определить, какой режим движения жидкости будет в том или ином конкретном случае? Для чего необходимо знать режимы движения жидкости?

29. От каких характеристик потока зависит режим движения жидкости? Какова зависимость между потерями напора и скоростью течения жидкости при ламинарном и турбулентном ее движении?

30. При каком режиме движения жидкости в круглой трубе (ламинарном или турбулентном) наблюдается большая неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока жидкости и почему?

31. Приведите расчетные формулы для определения потерь напора по длине потока.

32. Напишите формулу Дарси. От чего зависит коэффициент гидравлического трения λ ? Перечислите все зоны сопротивления, поясните, когда имеет место каждая из них, и от каких факторов зависит коэффициент гидравлического трения в пределах каждой зоны.

33. Как определяют потерю напора при ламинарном течении в трубах?

34. Какие трубы называются гидравлически гладкими? От каких факторов зависит потеря напора по длине в гидравлически гладких трубах?

35. От каких факторов зависит коэффициент гидравлического трения при турбулентном движении?

36. Что называется квадратичной областью сопротивления?

37. Напишите формулу Шези с пояснением всех параметров, а также все расчетные зависимости (для расхода, для гидравлического уклона, для потери напора по длине), получающиеся непосредственно из этой формулы. Какова размерность коэффициента Шези?

38. Какой зависимостью связаны коэффициенты Шези C и гидравлического трения λ ? Какова размерность этих коэффициентов?

39. Выведите зависимость, связывающую коэффициент Шези C и коэффициент гидравлического трения λ .

40. Что называется местным сопротивлением? Чем обусловлена потеря напора в местных сопротивлениях? По какой формуле находятся потери напора в местных сопротивлениях?

41. Как выражается потеря напора при внезапном расширении трубопровода?

Движение жидкости в напорном трубопроводе

42. Приведите основные формулы для расчета напорных трубопроводов.

43. Какая величина называется расходной характеристикой или модулем расхода? По какой формуле определяют расходную характеристику, и какова ее размерность? Каков физический смысл этой величины?

44. Что называется простым трубопроводом, какие основные задачи встречаются при его расчете и как они решаются?

45. Изложите методику расчета простого трубопровода, состоящего из нескольких труб разного диаметра.

46. В чем различие в гидравлическом расчете длинных и коротких трубопроводов?

47. В чем состоит разница в методике определения диаметров труб на участках магистрального трубопровода и его ответвлений при расчете тупиковой водопроводной сети?

48. Изложите методику расчета трубопроводов при последовательном и параллельном соединениях.

49. Какое соединение трубопроводов называют параллельным? На чем основан расчет параллельного соединения трубопроводов? Приведите расчетную зависимость применительно к параллельному соединению трубопроводов.

50. От каких факторов зависит распределение общего расхода по ветвям параллельного трубопровода? Как распределяется общий расход по двум ветвям параллельного трубопровода, если диаметры труб на обеих ветвях одинаковы, а длина одной ветви больше второй в четыре раза?

51. Что называется гидравлическим ударом? Напишите формулу для расчета повышения давления при прямом гидравлическом ударе. Дайте пояснения каждому параметру, входящему в эту формулу. В каком случае гидравлический удар называется непрямым? По какой расчетной зависимости определяется повышение давления при непрямом гидравлическом ударе? Какие основные меры борьбы с гидравлическим ударом?

52. Как найти повышение давления в трубе при внезапном закрытии задвижки?

53. Как определить повышение давления в трубопроводе при известном времени закрывания задвижки?

Истечение жидкости из отверстий и насадок

54. Напишите формулу для определения расхода при истечении жидкости из отверстий и насадок. Дайте пояснение каждому члену, входящему в эту формулу.

55. Выведите формулу для определения расхода при истечении жидкости из отверстий и насадок.

56. Какая существует связь между коэффициентом расхода, скорости, сжатия и сопротивления при истечении из отверстий? Каков физический смысл этих коэффициентов?

57. Как изменяются расход и скорость при истечении жидкости через наружный цилиндрический насадок оптимальной длины по сравнению с истечением ее из малого круглого отверстия того же сечения в тонкой стенке сосуда при одинаковом напоре?

58. Объясните причину образования вакуума, пользуясь уравнением Бернулли, при истечении жидкости через внешний цилиндрический и конический расходящийся насадки. В каком из этих двух насадков наблюдается больший вакuum?

59. Докажите, какой из двух насадков — внешний цилиндрический или конический расходящийся — имеет большую пропускную способность, если площади входных сечений этих насадков одинаковы.

60. В каком случае и почему пропускная способность будет больше — при истечении жидкости из насадка длиной $l = 1,5d$ или длиной $l = 4d$?

61. Выведите формулу для определения времени опорожнения резервуара при истечении из отверстий и насадок.

62. Два цилиндрических сосуда, наполненных водой, имеют одинаковую площадь дна и одинаковую высоту уровня воды. В одном из этих сосудов имеется отверстие в центре дна, а во втором — в дне вблизи стенки. Из какого сосуда быстрее вытечет жидкость, если площади отверстий одинаковы? Объясните, почему это произойдет.

63. Как изменится время опорожнения вертикального цилиндрического сосуда через отверстие в его дне, если увеличить высоту уровня жидкости в сосуде в два раза и во столько же раз уменьшить площадь дна?

Равномерное движение жидкости в открытых руслах

64. Дайте определение равномерного движения жидкости в открытых руслах. Приведите основное уравнение для гидравлического расчета равномерного движения.

65. Перечислите основные формы поперечных сечений каналов. Напишите формулы для определения гидравлических элементов живого сечения в трапецидальных руслах.

66. Перечислите основные типы задач по расчету каналов и методы их решения.

67. Как определяют глубину наполнения канала и среднюю скорость движения воды в канале?

68. Как определяют ширину канала по дну при заданных расходе воды, уклоне дна, глубине наполнения, коэффициенте шероховатости стенок русла и коэффициенте величины откоса?

69. Дайте пояснения, что такое гидравлический показатель русла и как его вычисляют. Как с помощью гидравлического показателя русла можно определить глубину наполнения канала?

70. Дайте определение понятия гидравлически наивыгоднейшего поперечного сечения канала. Какой зависимостью определяется соотношение между шириной канала по низу и глубиной его наполнения при гидравлически наивыгоднейшем сечении?

Неравномерное движение в открытых руслах

71. Когда наблюдается неравномерное движение жидкости в открытых руслах? Сформулируйте правило, в каких случаях при этом глубина потока вниз по течению убывает, а в каких возрастает.

72. Сформулируйте определение понятия удельной энергии сечения. Напишите выражение для величины удельной энер-

гии сечения. Начертите график удельной энергии сечения. Покажите на графике глубины, соответствующие спокойным и бурным потокам. Как изменяется удельная энергия сечения при увеличении глубины в спокойном и бурном потоках?

73. В чем принципиальное отличие полной удельной энергии потока в рассматриваемом сечении и удельной энергии сечения?

74. Какая глубина называется критической? Как определяют критическую глубину?

75. Выведите общее уравнение для вычисления критической глубины потока.

76. Выведите формулу для определения критической глубины потока в случае прямоугольного поперечного сечения русла.

77. Что называется критическим уклоном дна канала и как определяется величина критического уклона?

78. Какое движение называется спокойным? Что такое бурное движение? Как определить состояние движения потока?

79. Напишите формулы для числа Рейнольдса и числа Фруда. Какова размерность этих параметров? В чем их практическое значение?

80. Выведите дифференциальное уравнение неравномерного, установившегося, плавно изменяющегося движения жидкости в призматическом русле.

81. Проведите анализ дифференциального уравнения неравномерного, установившегося, плавно изменяющегося движения жидкости в призматическом русле. На основе этого анализа сформулируйте правило, по которому изменяется глубина потока при неравномерном режиме движения.

82. Перечислите возможные виды кривых свободной поверхности потока при установившемся неравномерном движении. Поясните их примерами.

83. Что называется гидравлическим прыжком? Что такое сопряженные глубины? Напишите формулу сопряженных глубин для прямоугольных русел. В каком случае имеют место надвинутый (критический), затопленный и отогнанный гидравлический прыжки?

Водосливы

84. Что называется водосливом? Изложите классификацию водосливов. Напишите расчетную формулу, по которой определяется расход при переливе через водослив. Дайте пояснение всем параметрам, входящим в эту формулу.

Движение грунтовых вод

85. Что называется фильтрацией? Что такое коэффициент фильтрации? В чем отличие ламинарной фильтрации от турбулентной?

86. Как определяют скорость и расход грунтового потока при равномерном движении для ламинарного и турбулентного режимов?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Железняков Г.В. Гидравлика и гидрология. — М.: Транспорт, 1989.
2. Угинчус А.А., Чугаева Е.А. Гидравлика. — Л.: Стройиздат, 1971.
3. Константинов Ю.М. Гидравлика. — Киев: Вища школа, 1981.
4. Чугаев Р.Р. Гидравлика. — Л.: Энергия, 1982.
5. Богомолов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика. — М.: Стройиздат, 1972.
6. Большаков В.А., Константинов Ю.М. и др.: Справочник по гидравлике. — Киев: Вища школа, 1977.
7. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. и др. Примеры расчетов по гидравлике. — М.: Стройиздат, 1976.
8. Примеры гидравлических расчетов /Под. ред. Н.М. Константинова. — 3-е изд. — М.: Транспорт, 1987.
9. Большаков В.А., Константинов Ю.М. и др. Сборник задач по гидравлике. — Киев: Вища школа, 1979.
10. Еманова В.И., Кадыков В.Т. Примеры гидравлических расчетов. — М.: ВЗИИТ, 1988.

Приложение 1

**Значение кинематического коэффициента вязкости воды
при различной температуре**

$T, {}^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50
$\nu, \text{см}^2/\text{с}$	0,0178	0,0131	0,0101	0,009	0,0066	0,0058

Приложение 2

**Предельные расходы
в стальных водопроводных трубах**

Диаметр условного прохода $D, \text{мм}$	$Q, \text{л}/\text{с}$
100	11,7
125	16,6
150	21,8
175	29,2
200	46,0
250	71,0

Приложение 3

**Значения K для круглых стальных труб,
подсчитанные по полной формуле
академика Н.Н. Павловского при $n = 0,012$**

$d, \text{мм}$	$K, \text{м}^3/\text{с}$
50	0,00987
75	0,0287
100	0,0614
125	0,114
150	0,1794
200	0,3837
250	0,6921
300	1,1206
350	1,6842
400	2,3970