

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный университет

Кафедра водоснабжения и водоотведения

ГИДРАВЛИКА

Методические указания к выполнению контрольных заданий

Часть I

Факультеты: экологии, ЗДО
Направление 08.03.01 «Строительство»

Вологда
2014

УДК 378.147:532

Гидравлика: методические указания к выполнению контрольных заданий. Часть I. - Вологда: ВоГУ, 2014. – 39 с.

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения направления 08.03.01 «Строительство» профиль «Водоснабжение и водоотведение», изучающих дисциплины «Гидравлика», «Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения».

В методических указаниях представлены задания к контрольной работе и рекомендации к их выполнению.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель А.Н. Тянин, канд. техн. наук, доцент

Рецензент В.В. Одинцов, канд. техн. наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ

Выполнению контрольных работ должно предшествовать изучение теоретических основ соответствующего раздела курса гидравлики с использованием рекомендуемой литературы.

Контрольная работа оформляется на бумажном носителе.

Титульный лист подписывается студентом, на нем производится регистрация работы. На титульном листе преподавателем проставляется отметка о допуске к защите и приводится рецензия контрольной работы.

При выполнении работ студент письменно решает задачи, используя исходные данные в соответствии с заданным вариантом.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие условия:

1. Страницы рукописи должны быть пронумерованы снизу по центру.
2. Текст условия задачи следует приводить полностью.
3. Работу следует писать от руки чернилами или печатать на одной стороне листа.
4. Решения должны быть краткими, но исчерпывающими.
5. Решение задач необходимо вести поэтапно, с пояснением каждого хода решения.
6. Перед вычислением искомых величин нужно вначале написать расчетную формулу в буквенном выражении. Затем необходимо подставить численные значения всех входящих в нее параметров и привести окончательный ответ.
7. В приводимых расчетных формулах поясняют все входящие в них параметры.
8. У всех размерных величин должна быть проставлена размерность.
9. При решении задач следует строго следить за соблюдением единства размерностей величин, входящих в ту или иную расчетную зависимость.
10. Значение всех коэффициентов следует обосновать ссылкой на литературу с указанием автора, названия источника и номера страницы.
11. Графики к работе следует выполнять на бумаге с координатной сеткой (миллиметровой бумаге) и клеивать или вшивать в работу.
12. При построении расчетных графиков нужно указать величины, откладываемые по осям графика, с обозначением их размерностей.
13. В конце работы привести список литературы.
14. Все отмеченные рецензентом ошибки должны быть исправлены, а сделанные указания выполнены. Исправлять ошибки следует отдельно по каждой задаче на чистой стороне листа.

К экзамену студент допускается только после получения зачета по контрольной работе.

Задача 1

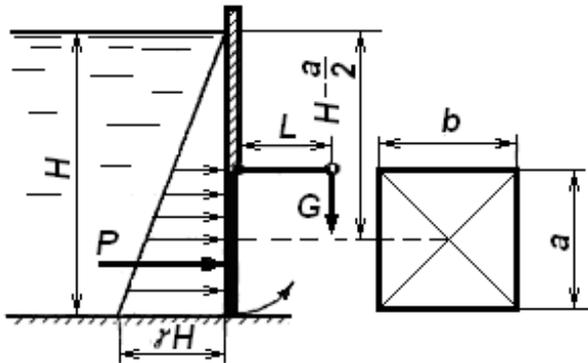


Рисунок 1 – Схема устройства плоского щита

В боковой вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие с размерами a и b . Отверстие перекрывается плоским щитом, шарнирно закрепленным верхней стороной к горизонтальной оси. Щит может отклоняться против часовой стрелки, вращаясь вокруг горизонтальной оси (рисунок 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 .

Данные для решения задачи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
b , м	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
H , м	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6
l , м	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

Продолжение таблицы 1

Параметр	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a , м	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7
b , м	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8
H , м	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6
l , м	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3

Продолжение таблицы 1

Параметр	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
a , м	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
b , м	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8
H , м	9,4	9,0	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8
l , м	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3

Методические 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 щита при достижении водой уровня H вращающему моменту от веса груза G , и из этого равенства найти искомый вес груза G .

Задача 2

В плоской вертикальной стенке резервуара, наполненного водой, имеется прямоугольное отверстие высотой a и шириной b , перекрываемое полуцилиндрической крышкой ABC (рисунок 2). Верхняя кромка этого отверстия находится на глубине H под уровнем воды в резервуаре.

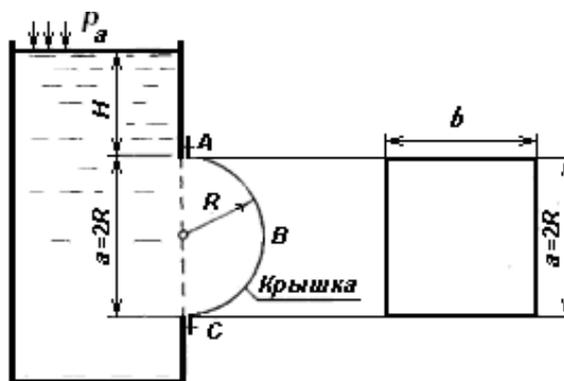


Рисунок 2 - Схема бака и полуцилиндрической крышки

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

Данные для решения задачи представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H , м	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
R , м	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
b , м	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8

Продолжение таблицы 2

Параметр	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
H , м	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	5,9	5,7	5,5	5,3
R , м	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,3	3,1	2,9	2,7
b , м	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	3,9	3,7	3,5	3,3

Продолжение таблицы 2

Параметр	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
H , м	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3
R , м	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7
b , м	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3

Методические указания к решению задачи 2

Расчетная схема бака и крышки с положением координатных осей представлена на рисунке 3.

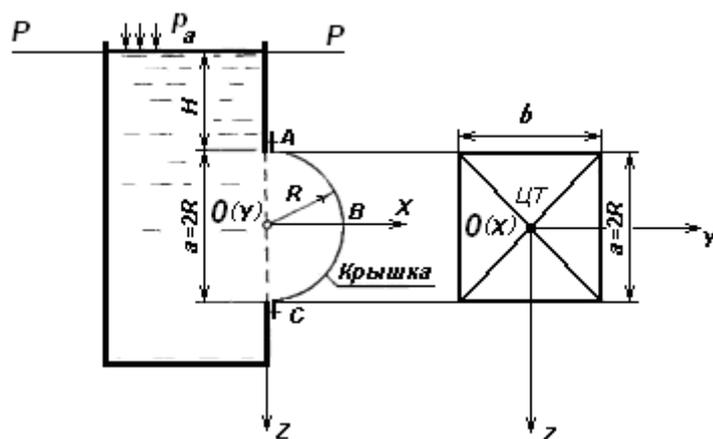


Рисунок 3 - Расчетная схема бака и крышки с положением координатных осей

Суммарную силу избыточного давления воды на цилиндрическую поверхность определяют по формуле

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \text{ Н},$$

где P_x - горизонтальная составляющая силы избыточного гидростатического давления P , H ; P_z - вертикальная составляющая силы избыточного

гидростатического давления P , H

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

$$P_x = p_{\text{ЦТ}} \cdot \omega_{yOz}, \text{ Н},$$

где $p_{\text{ЦТ}}$ - избыточное гидростатическое давление в центре тяжести площади проекции криволинейной поверхности на плоскость YOZ , Па ; ω_{yOz} - площадь проекции криволинейной поверхности на вертикальную плоскость YOZ , м^2 .

$$p_{\text{ЦТ}} = \gamma \cdot h_{\text{ЦТ}} = \gamma \cdot (H + R), \text{ Па}$$

$$\omega_{yOz} = b \cdot a = b \cdot 2R, \text{ м}^2.$$

Вертикальная составляющая P_z силы избыточного гидростатического давления равна весу жидкости в объеме тела давления:

$$P_z = \gamma \cdot W_0, \text{ Н},$$

где W_0 - объем тела давления, м^3 ; γ - удельный вес жидкости, Н/м^3 .

$$W_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot b, \text{ м}^3$$

Тело давления представляет собой объем, ограниченный криволинейной поверхностью, ее проекцией на пьезометрическую плоскость ($P-P$) и заклю-

ченный между вертикальными плоскостями, проходящими через крайние образующие цилиндрической поверхности.

В рассматриваемой задаче пьезометрическая плоскость проходит по свободной поверхности воды открытого резервуара.

Если тело давления расположено со стороны поверхности, смачиваемой жидкостью (в теле давления находится вода), то оно положительно, и P_z направлена вниз. Если тело давления находится со стороны поверхности, не смачиваемой жидкостью (в теле давления нет воды), то такое тело давления отрицательно, и сила P_z направлена вверх.

В данной задаче для нахождения тела давления цилиндрическую поверхность ABC нужно разделить на две части: AB и BC . Тело давления для поверхности AB будет отрицательным, а для BC положительным.

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

Суммарная сила избыточного гидростатического давления на цилиндрическую поверхность направлена по радиусу кривизны. Линия действия силы давления проходит через центр кривизны под углом φ к горизонту.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_z}{P_x}$$

Координаты центра давления равны

$$x_D = r \cdot \operatorname{Cos} \varphi \quad z_D = r \cdot \operatorname{Sin} \varphi \quad y_D = \frac{b}{2}$$

Задача 3

Определить напор H и среднюю скорость движения воды в последней трубе V_3 , если заданы диаметры d_1 , d_2 и d_3 участков трубопровода, а также их длина l_1 , l_2 и l_3 . Скорость в средней трубе равна V_2 . Абсолютная эквивалентная шероховатость труб составляет $\Delta_3 = 0,05 \text{ мм}$, температура воды $t^\circ \text{C}$. Схема трубопровода и резервуара представлена на рисунке 4.

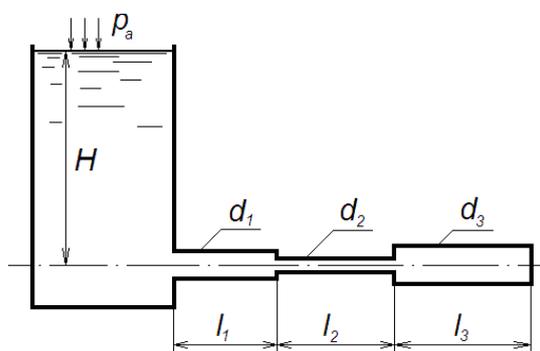


Рисунок 4 – Схема трубопровода и резервуара

Примечание. Рисунок соответствует случаю, когда $d_2 < d_1 < d_3$.

Построить пьезометрическую и напорную линии. Исходные данные для расчёта взять из таблицы 3.

Таблица 3 – Исходные данные

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_1, мм$	50	75	50	100	125	150	150	150	100	100
$d_2, мм$	25	50	25	50	50	25	100	50	75	50
$d_3, мм$	50	75	25	75	75	50	150	75	125	65
$l_1, м$	10	20	15	20	30	25	30	35	25	20
$l_2, м$	15	25	15	28	10	15	10	15	20	20
$l_3, м$	10	20	20	22	20	15	10	25	15	20
$V_2, м/с$	1,5	1,7	1,2	1,6	1,2	1,4	2,0	1,3	2,1	1,3
t^0C	4	8	3	4	5	6	7	8	9	10

Продолжение таблицы 3

Параметр	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d_1, мм$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$d_2, мм$	25	50	40	50	50	25	100	50	75	50
$d_3, мм$	40	35	25	45	75	50	50	40	50	25
$l_1, м$	11	22	13	15	10	25	30	33	24	8
$l_2, м$	13	15	17	28	9	19	10	15	20	20
$l_3, м$	10	20	12	22	14	15	16	21	17	16
$V_2, м/с$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
t^0C	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Продолжение таблицы 3

Параметр	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$d_1, мм$	45	75	75	110	125	100	40	35	50	90
$d_2, мм$	30	50	25	60	50	45	80	50	75	70
$d_3, мм$	50	30	40	45	85	70	75	40	80	100
$l_1, м$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$l_2, м$	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8
$l_3, м$	10	20	20	22	20	16	10	24	14	20
$V_2, м/с$	1,5	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
t^0C	22	24	26	28	30	35	32	29	30	25

Методические указания к решению задачи 3

Схема трубопровода и резервуара с положением сечений $A - A$, $B - B$ и плоскости сравнения $0 - 0$ представлена на рисунке 5.

Данную задачу решают на основе применения уравнения Д. Бернулли. Для потока вязкой жидкости, движущейся от сечения $A - A$ к сечению $B - B$, уравнение Д. Бернулли имеет вид:

$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A V_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{\alpha_B V_B^2}{2g} + h_{wI-II},$$

где z_A и z_B – расстояния, определяемые по вертикальной оси, от произвольно выбранной горизонтальной плоскости сравнения $0 - 0$ до центров тяжести живых сечений $A - A$ и $B - B$, м; p_A и p_B – давления в центрах тяжести живых сечений $A - A$ и $B - B$, H/m^2 ; V_A и V_B – средние скорости движения жидкости в живых сечениях $A - A$ и $B - B$, м/с; α_A и α_B – поправочные коэффициенты (коэффициенты Кориолиса), представляющие собой безразмерную величину, равную отношению истинной кинетической энергии потока в рассматриваемом сечении к кинетической энергии, рассчитанной по средней скорости. Для турбулентного режима движения жидкости значение α можно принимать равным 1,0; h_{wA-B} – потери напора на преодоление сил сопротивления при движении потока от сечения $A - A$ до сечения $B - B$, м; $\gamma = \rho g$ – удельный вес жидкости, H/m^3 ; ρ – плотность жидкости, $кг/м^3$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Порядок решения задачи

1. Составляют уравнение Д. Бернулли в общем виде для сечений $A - A$ и $B - B$. Сечение $A - A$ совпадает со свободной поверхностью жидкости в резервуаре, сечение $B - B$ совпадает с выходным сечением трубопровода (при истечении жидкости из трубопровода в атмосферу).

При написании уравнения Д. Бернулли следует помнить, что обозначение индексов у всех членов уравнения должно совпадать с названием сечений, к

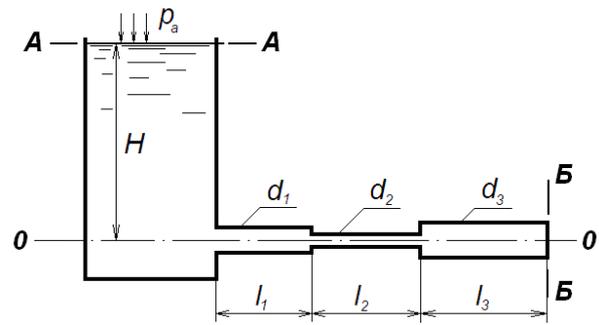


Рисунок 5 - Схема трубопровода и резервуара с положением сечений $A - A$, $B - B$ и плоскости сравнения $0 - 0$

которым они относятся. Например, величины, относящиеся к сечению $A - A$, следует обозначать z_A, p_A, α_A, V_A .

2. Намечают положение горизонтальной плоскости сравнения. При горизонтально располагаемом трубопроводе плоскость 0-0 привязывают к оси трубопровода.

После этого устанавливают, чему равно каждое слагаемое, входящее в уравнение Д. Бернулли, применительно к условиям решаемой задачи.

Например, $z_A = H$ (искомая величина напора в резервуаре) $p_A = p_{atm}$ (атмосферное давление); $V_A = 0$ (средняя скорость движения воды в сечении $A - A$ резервуара) и т. д.

3. После подстановки всех найденных величин в уравнении Д. Бернулли и 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 число Рейнольдса и устанавливают режим движения на каждом участке. Значение кинематического коэффициента вязкости следует принять по данным таблицы 1 приложения 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 $h_{вх}$, внезапное расширение $h_{вр}$ и внезапное сужение $h_{вс}$ (тип местных потерь и их количество зависит от диаметров труб на участках трубопровода).

Потери напора по длине h_l определяют по формуле Дарси:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}, \text{ м,}$$

где l – длина расчетного участка трубопровода, м; d – диаметр участка трубопровода, м; V – средняя скорость движения воды на рассматриваемом участке трубопровода, $\frac{м}{с}$; λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси), учитывающий влияние на потерю напора по длине вязкости жидкости и шероховатости стенки трубы.

Коэффициент гидравлического трения определяют по соответствующим формулам в зависимости от зоны (области) сопротивления, в которой работает трубопровод при движении жидкости.

При значении критерия зоны турбулентности $K_T = \frac{V \cdot \Delta_{\text{э}}}{\nu} < 10$ трубопровод работает в зоне гидравлически гладких труб, и значение λ следует определять по формуле Блазиуса:

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

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu},$$

где Re - число Рейнольдса; ν - кинематический коэффициент вязкости зависящий от температуры, $\text{м}^2/\text{с}$.

При $10 \leq \frac{V \cdot \Delta_{\text{э}}}{\nu} \leq 500$ трубопровод работает в переходной зоне сопротивления, в которой значение λ определяют по формуле А.Д. Альтшуля:

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

При $\frac{V \cdot \Delta_{\text{э}}}{\nu} > 500$ имеет место квадратичная зона сопротивления, и значение λ определяют по формуле Шифринсона:

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

Потери напора на местных сопротивлениях вычисляют по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_m \frac{V^2}{2g}, \text{ м},$$

где ζ_m - безразмерный коэффициент местного сопротивления. Значение ζ_m принимают по справочнику или рассчитывают по формуле; V - средняя скорость движения воды в трубопроводе за местным сопротивлением, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

При вычислении потери напора на входе в трубу коэффициент местного сопротивления при острых кромках входного сечения принимают равным $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$.

Значение коэффициента местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода вычисляют по формуле:

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

где ω_1 - площадь широкого сечения трубы, м^2 ; ω_2 - площадь узкого сечения трубы, м^2 .

Потерю напора при внезапном расширении трубопровода определяют по формуле Борда:

$$h_{\text{ер}} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}, \text{ м},$$

где V_1, V_2 - средние скорости течения соответственно до и после расширения, м/с .

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

Строят напорную линию (рисунок б). Напорная линия показывает, как изменяется полный напор $H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g}$ (полная удельная энергия) по длине потока. Значения H откладывают вверх от осевой линии трубопровода.

Масштабы уменьшения: $M_z M_v$

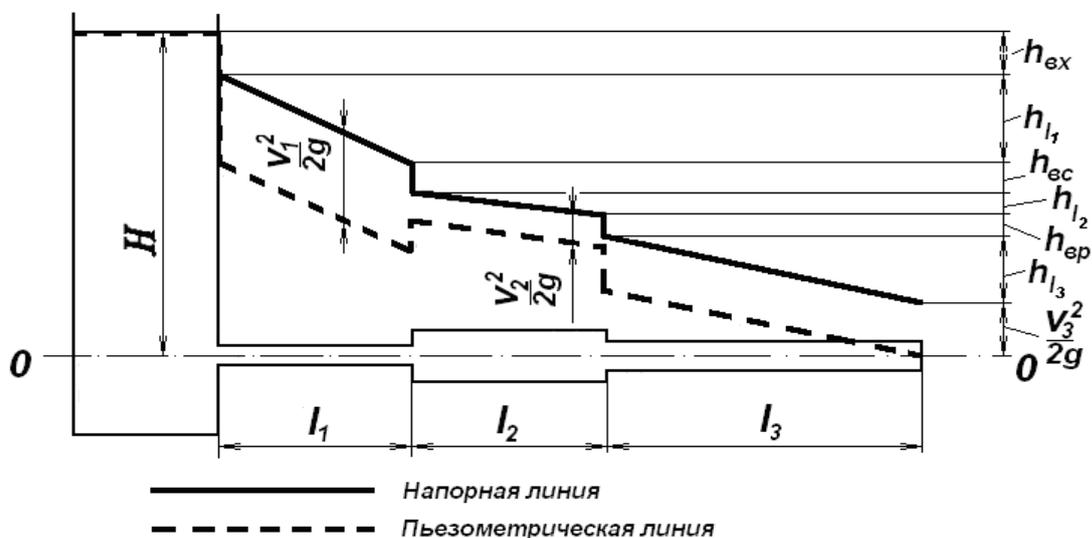


Рисунок б – Пример построения графиков полного и пьезометрического напоров

Примечание. Построение графиков соответствует случаю, когда $d_1 < d_3 < d_2$.

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 трубопровода величину найденной глубины жидкости H в резервуаре. Проводя по свободной поверхности воды в резервуаре горизонтальную линию, получаем линию исходного (первоначального) полного 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 вход в трубопровод).

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 $z + \frac{p}{\gamma}$ (удельная потенциальная энергия) по длине потока. Удельная потенциальная энергия меньше полной удельной энергии на величину удельной кинетической энергии $\frac{\alpha V^2}{2g}$. Поэтому, чтобы построить пьезометрическую линию, нужно вычислить на каждом участке величину $\frac{\alpha V^2}{2g}$ и отложить ее числовое значение в масштабе вниз по вертикали от напорной линии. Откладывая соответствующие значения $\frac{\alpha V^2}{2g}$ 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 $\frac{\alpha V^2}{2g}$.

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 линии, пьезометрическая линия может вниз по течению как убывать, так и возрастать (при переходе с меньшего сечения на большее).

4. В пределах каждого участка трубопровода, характеризующегося постоянным диаметром, пьезометрическая линия должна быть параллельна напорной, поскольку в пределах каждого участка постоянна величина $\frac{\alpha V^2}{2g}$.

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 приходиться 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 рисунке б.

Задача 4

Горизонтальный трубопровод из стальных труб, схема которого показана на рисунке 7, 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 .

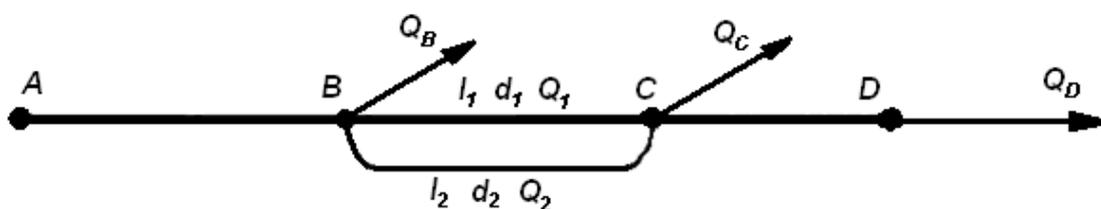


Рисунок 7 – Схема трубопровода и узлов разбора воды

Требуется:

1. Установить диаметры труб на участках AB и CD по предельным расходам.
2. Определить распределение расходов по 1-й и 2-й 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_{CB} , если известны длины участков AB и CD .

4. Построить пьезометрическую линию по длине трубопровода.

Данные для решения задачи представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_1 , м	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
l_2 , м	250	350	400	500	600	700	800	900	1000	1100
l_{AB} , м	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
l_{CD} , м	175	195	200	290	315	325	325	390	370	405
d_1 , мм	80	125	100	100	150	125	100	100	80	100
d_2 , мм	100	100	125	80	80	100	125	100	150	80
Q_B , л/с	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13
Q_C , л/с	8	7	9	8	10	9	12	15	17	14
Q_D , л/с	7	12	14	10	16	13	9	8	10	10
H_{CB} , м	14	15	18	17	20	22	20	23	24	26

Продолжение таблицы 4

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
l_1 , м	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
l_2 , м	1200	900	1000	1150	1250	1250	1300	1500	1450	1600
l_{AB} , м	420	440	460	480	500	520	540	550	570	590
l_{CD} , м	530	350	520	510	600	500	535	575	540	600
d_1 , м	80	65	115	125	175	125	115	150	200	75
d_2 , м	75	75	125	150	125	175	150	125	75	175
Q_B , л/с	10	12	14	15	16	18	20	22	24	26
Q_C , л/с	7	9	11	13	15	17	19	20	22	20
Q_D , л/с	11	15	18	20	23	20	15	14	17	19
H_{CB} , м	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30

Продолжение таблицы 4

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$l_1, \text{ м}$	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600
$l_2, \text{ м}$	1250	1400	1500	1600	1700	1800	1750	1800	1900	2000
$l_{AB}, \text{ м}$	600	700	650	750	800	850	900	1000	950	1050
$l_{CD}, \text{ м}$	400	330	370	600	700	900	870	900	850	800
$d_1, \text{ м}$	80	150	115	125	150	175	200	200	250	80
$d_2, \text{ м}$	150	175	100	100	125	150	175	150	80	175
$Q_B, \text{ л/с}$	21	23	25	27	29	31	33	32	30	25
$Q_C, \text{ л/с}$	16	20	15	14	17	18	10	12	20	16
$Q_D, \text{ л/с}$	20	23	21	25	22	27	30	29	26	30
$H_{CB}, \text{ м}$	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37

Методические 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 Приложении 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:

1. $h_1 = h_2 = h_n$ (потери напора на всех параллельно соединенных участках одинаковы);

2. $Q_1 + Q_2 = Q_{BC}$ (суммарный расход, проходящий по участкам параллельного соединения трубопроводов).

С другой стороны, по формуле Шези имеем:

$$Q = K\sqrt{i} = K\sqrt{\frac{h_l}{l}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где K - расходная характеристика (принимаемая по приложению 2), $\text{м}^3/\text{с}$
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, $\text{м}^3/\text{с}$; l_1 и l_2 - длины участков 1 и 2, м.

Отсюда потеря напора на участке с параллельным соединением труб равна:

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

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

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_1}}, \text{ м}^3/\text{с}; \quad Q_2 = K_2 \sqrt{\frac{h_{BC}}{l_2}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

5. Выполняют проверку:

$$Q_{BC} = Q_1 + Q_2, \text{ м}^3/\text{с}.$$

6. Определяют потери напора на участках AB и CD :

$$h_{AB} = \frac{Q_{AB}^2}{K_{AB}^2} \cdot l_{AB}, \text{ м}; \quad h_{CD} = \frac{Q_{CD}^2}{K_{CD}^2} \cdot l_{CD}, \text{ м}.$$

Диаметры условных проходов напорных труб и соответствующие им значения предельных расходов приведены в приложении 3.

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

$$H_C = H_{CB} + h_{CD}, \text{ м};$$

$$H_B = H_C + h_{BC}, \text{ м};$$

$$H_A = H_B + h_{AB}, \text{ м},$$

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

8. По полученным значениям напоров в точках A , B , C и D строят пьезометрическую линию (рисунок 8).

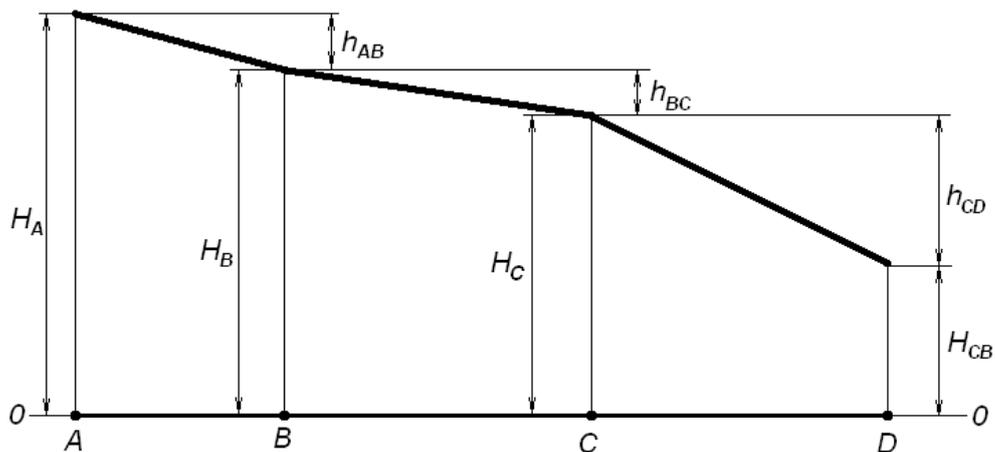


Рисунок 8 – Пример построения графика пьезометрического напора

Задача 5

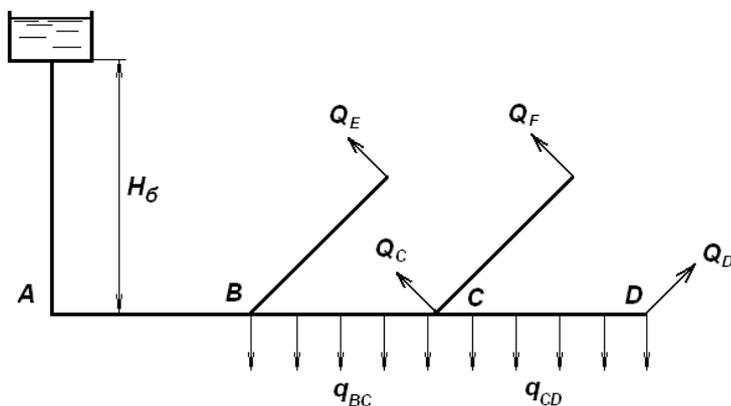


Рисунок 9 - Схема водопроводной сети

Водонапорная башня питает водопроводную сеть, схема которой показана на рисунке 9. Определить диаметры труб на участках сети и высоту водонапорной башни $H_б$. Скорость в трубах должна быть $V \leq 1,0 \frac{м}{с}$.

Трубы - новые стальные.

Данные для решения задачи взять из таблицы 5.

Таблица 5 – Исходные данные

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{AB} , м	550	650	400	500	600	700	800	900	1000	1100
l_{BC} , м	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
l_{CD} , м	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
l_{BE} , м	175	195	200	290	315	325	325	390	370	405
l_{CF} , м	80	125	100	100	150	125	100	100	80	100
Q_C , л/с	8	7	9	8	10	9	12	15	17	14
Q_D , л/с	7	12	14	10	16	13	9	8	10	10
Q_E , л/с	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13
Q_F , л/с	6	7	8	9	10	11	11	12	11	10
q_{BC} , л/с м	0,05	0,048	0,042	0,040	0,032	0,030	0,022	0,023	0,021	0,016
q_{CD} , л/с м	0,03	0,032	0,03	0,028	0,026	0,024	0,022	0,020	0,018	0,024
H_{CB} , м	19	21	18	17	20	22	20	23	24	20

Продолжение таблицы 5

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
l_{AB} , м	1200	900	1000	1150	1250	1250	1300	1500	1450	1600
l_{BC} , м	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
l_{CD} , м	420	440	460	480	500	520	540	550	570	590
l_{BE} , м	530	350	520	510	600	500	535	575	540	600
l_{CF} , м	80	65	115	125	175	125	115	150	200	75
Q_C , л/с	7	8	9	10	11	12	13	12	11	10
Q_D , л/с	10	12	14	15	16	18	16	14	12	16
Q_E , л/с	7	9	11	13	15	17	19	20	22	20
Q_F , л/с	11	15	18	20	23	20	15	14	17	19
q_{BC} , л/с м	0,01	0,025	0,02	0,009	0,01	0,01	0,015	0,009	0,008	0,01
q_{CD} , л/с м	0,03	0,035	0,03	0,034	0,036	0,037	0,038	0,04	0,032	0,031
H_{CB} , м	18	20	16	19	22	25	28	31	34	30

Продолжение таблицы 5

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
l_{AB} , м	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600
l_{BC} , м	1250	1400	1500	1600	1700	1800	1750	1800	1900	2000
l_{CD} , м	600	700	650	750	800	850	900	1000	950	1050
l_{BE} , м	400	330	370	600	700	900	870	900	850	800
l_{CF} , м	80	150	115	125	150	175	200	200	250	80
Q_C , л/с	10	17,5	10	10	12,5	15	17,5	15	8	14,5
Q_D , л/с	21	23	25	27	29	31	33	32	30	25
Q_E , л/с	16	20	15	14	17	18	10	12	20	16
Q_F , л/с	20	23	21	25	22	27	30	29	26	30
q_{BC} , л/с м	0,01	0,009	0,008	0,0075	0,006	0,008	0,009	0,008	0,009	0,007
q_{CD} , л/с м	0,025	0,030	0,028	0,034	0,024	0,022	0,020	0,025	0,018	0,024
H_{CB} , м	20	24	28	26	22	27	32	30	28	25

Методические указания к решению задачи 5

1. Рассчитывают расчетные расходы на каждом участке водопроводной сети:

$$Q_{CD} = Q_D + 0,55 q_{CD} \cdot l_{CD}, \frac{\text{л}}{\text{с}}; \quad Q_{CF} = Q_F, \frac{\text{л}}{\text{с}};$$

$$Q_{BC} = Q_D + Q_F + Q_C + q_{CD} \cdot l_{CD} + 0,55 q_{BC} \cdot l_{BC}, \frac{\text{л}}{\text{с}}; \quad Q_{BE} = Q_E, \frac{\text{л}}{\text{с}};$$

$$Q_{AB} = Q_D + Q_F + Q_C + Q_E + q_{CD} \cdot l_{CD} + q_{BC} \cdot l_{BC}, \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

2. Выбирают участки сети, включаемые в магистраль. Например, участки $AB - BC - CF$.

3. Для всех участков магистрали принимают среднюю скорость движения воды, равную $V_{\text{эк}} = 1,0 \frac{M}{c}$.

4. По каждому участку магистрали определяют диаметр труб:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V_{\text{эк}}}}, \text{ м.}$$

5. В соответствии с вычисленными расчетными диаметрами труб на участках магистрали по таблице 3 приложения 3 принимают условные диаметры труб и выписывают соответствующие им расходные характеристики (для квадратичной области сопротивления новых стальных труб).

6. Рассчитывают потери напора по длине на каждом участке магистрали:

$$h_L = \frac{Q^2}{K^2} \cdot L, \text{ м.}$$

7. Потери напора на местных сопротивлениях принимают в размере 10 % от потерь напора по длине. Общие потери напора на участках магистрали равны:

$$h_W = 1,1 \cdot \frac{Q^2}{K^2} \cdot L, \text{ м.}$$

8. Потери напора при движении воды по всем участкам магистрали равны

$$\Sigma h_{W_{A-D}} = h_{W_{AB}} + h_{W_{BC}} + h_{W_{CD}}, \text{ м.}$$

9. Высоту водонапорной башни находят из уравнения Бернулли, которое записывают без учета удельной кинетической энергии жидкости, движущейся в трубопроводе по участкам магистрали:

$$H_{\text{б}} + Z_A = h_{\text{сб}} + Z_D + \Sigma h_{W_{A-D}};$$

$$H_{\text{б}} = h_{\text{сб}} + Z_D - Z_A + \Sigma h_{W_{A-D}}, \text{ м.}$$

10. При расчете тупиков BE и CF определяют удельную потенциальную энергию жидкости в узлах B ; C ; E ; F :

$$H_A = H_{\text{б}} + Z_A, \text{ м}; \quad H_B = H_A - h_{W_{AB}}, \text{ м};$$

$$H_C = H_B - h_{W_{BC}}, \text{ м}; \quad H_E = Z_E + h_{\text{сб}}, \text{ м}; \quad H_F = Z_F + h_{\text{сб}}, \text{ м.}$$

11. Определяют для каждого тупика допускаемые общие потери напора при движении воды:

$$h_{W_{BE}} = H_B - H_E, \text{ м}; \quad h_{W_{CF}} = H_C - H_F, \text{ м.}$$

12. Определяют для каждого тупика допускаемые потери напора по длине при движении воды:

$$h_{l_{BE}} = \frac{h_{w_{BE}}}{1,1}, \text{ м}; \quad h_{l_{CF}} = \frac{h_{w_{CF}}}{1,1}, \text{ м}.$$

13. Вычисляют расходные характеристики для трубопроводов тупиков:

$$K_{BE} = \frac{Q_{BE}}{\sqrt{\frac{h_{l_{BE}}}{l_{BE}}}}, \frac{\text{л}}{\text{с}}; \quad K_{CF} = \frac{Q_{CF}}{\sqrt{\frac{h_{l_{CF}}}{l_{CF}}}}, \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

14. По таблице 3 приложения 3 принимают условные диаметры труб тупиковых участков BE и CF .

15. По полученным значениям пьезометрических напоров в узлах A , B , C и D строят пьезометрическую линию (рисунок 10).

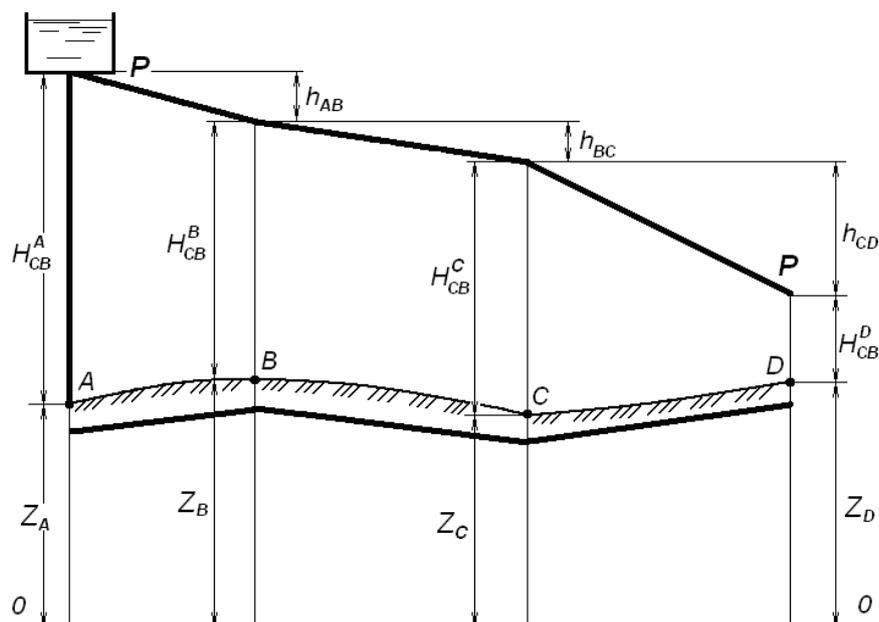


Рисунок 10 – Пример построения графика пьезометрического напора $P - P$

Задача 6

Определить толщину δ стенок стального трубопровода, чтобы напряжения в них от дополнительного давления при мгновенном закрытии затвора не превышало $\sigma_{зад}$. Диаметр трубопровода d . Скорость движения воды до закрытия затвора составляет V_0 . Трубы - новые стальные. Модуль упругости

воды принять $K_e = 2 \cdot 10^9 \frac{H}{M^2}$. Модуль упругости стали принять

$K_{cm} = 200 \cdot 10^9 \frac{H}{M^2}$. Данные для решения задачи взять из таблицы 6.

Таблица 6 – Исходные данные

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sigma_{зад} \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$d, мм$	100	115	125	150	175	200	225	250	275	300
$V_0, \frac{M}{c}$	1,20	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40

Продолжение таблицы 6

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\sigma_{зад} \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}$	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
$d, мм$	325	350	375	400	425	450	475	500	475	450
$V_0, \frac{M}{c}$	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60

Продолжение таблицы 6

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\sigma_{зад} \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}$	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20
$d, мм$	425	400	375	350	325	300	275	250	225	200
$V_0, \frac{M}{c}$	1,58	1,56	1,54	1,52	1,50	1,48	1,46	1,44	1,42	1,40

Методические указания к решению задачи 6

Задача может быть решена методом подбора искомой величины δ . Для этого:

1. Задаются рядом значений δ (толщины стенки).
2. Рассчитывают скорость распространения ударной волны при заданных значениях толщины стенки трубопровода:

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K_e}{K_{cm}} \cdot \frac{d}{\delta}}}, \quad \frac{M}{c},$$

где C - скорость распространения ударной волны в трубопроводе, заполненном водой, $\frac{м}{с}$; K_e и $K_{ст}$ - соответственно модуль упругости воды и стали, $\frac{Н}{м^2}$; d - диаметр трубопровода, $м$.

3. Рассчитывают дополнительное повышение давления при прямом гидравлическом ударе:

$$\Delta p = \rho \cdot V_0 \cdot C, \frac{Н}{м^2},$$

где Δp - повышение давления в трубопроводе при прямом гидравлическом ударе, $\frac{Н}{м^2}$; V_0 - средняя скорость движения воды в трубопроводе до гидравлического удара, $\frac{м}{с}$.

4. Находят значения растягивающих напряжений σ в стенках трубопровода:

$$\sigma = \frac{\Delta p \cdot d}{2 \delta}, \frac{Н}{м^2}.$$

5. Строят график $\sigma = f(\delta)$.

6. По графику, используя $\sigma_{зад}$, находят толщину стенки стального трубопровода.

Задача 7

Определить расход воды Q , проходящей через водопускную трубу в бетонной плотине при следующих условиях: напор над центром трубы H , диаметр трубы d , длина трубы l (рисунок 11).

Данные для решения задачи представлены в таблице 7.

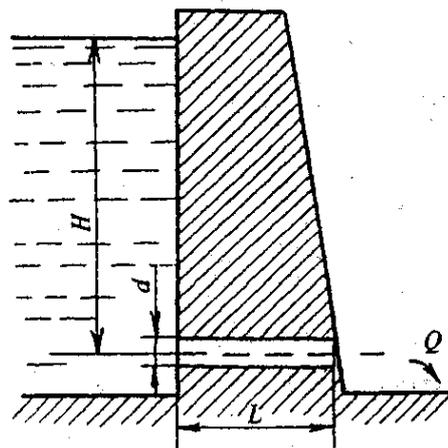


Рисунок 11 – Схема водопускной трубы

Таблица 7 – Исходные данные

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, м$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$d, м$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$l, м$	3	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5

Продолжение таблицы 7

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$H, м$	12	11	10	9	8	9	10	11	12	13
$d, м$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0
$l, м$	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5

Продолжение таблицы 7

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$H, м$	12	9	8	8	11	9	12	9	12	11
$d, м$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$l, м$	7	5	3	8	4	6	5	7	12	9

Методические указания к решению задачи 7

Расход воды, проходящий через водоспускную трубу, определяют по формуле

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где μ - коэффициент расхода, учитывающий местную потерю на вход в трубу; ω - площадь сечения трубы, м^2 ; g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H - напор над центром тяжести входного сечения 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

$$3,5d \leq l \leq 6d.$$

2. Вакуум $h_{\text{вак}}$ в насадке должен быть меньше $h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 8$ м вод. ст. Значение $h_{\text{вак}}$ вычисляют по формуле:

$$h_{\text{вак}} = 0,8H, \text{ м},$$

где H - напор над центром тяжести входного сечения трубы, м.

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

Если одно из перечисленных условий не будет выполняться, т. е.

$$l < 3,5d \text{ или } h_{\text{вак}} > 8 \text{ м,}$$

то водоспускная труба будет работать как отверстие и коэффициент расхода нужно принять $\mu = 0,62$.

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 определять 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 в трубу, снабженном решеткой, $\zeta_{\text{вх}} = 1,5$.

Задача 8

Трапецидальный канал с крутизной откосов m и коэффициентом шероховатости стенок $n = 0,025$, имеющий ширину по дну b , проложен с уклоном дна i (рисунок 12). Требуется определить:

1. Глубину воды в канале h_0 при пропуске расхода Q .
2. Ширину канала по верху (по урезу воды) B .
3. Среднюю скорость движения воды V .
4. Состояние потока (спокойное или бурное).
5. Критический уклон дна канала $i_{\text{кр}}$.
6. Для найденного значения площади поперечного сечения найти гидравлически наивыгоднейшее сечение канала (отношение $\frac{b}{h}$, соответствующее гидравлически наивыгоднейшему сечению).
7. Пропускную способность найденного гидравлически наивыгоднейшего сечения.

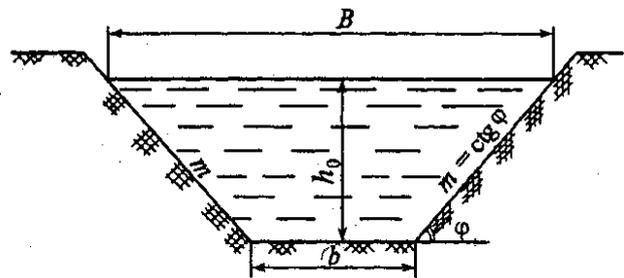


Рисунок 12 – Схема поперечного сечения трапецидального канала

Данные для решения задачи представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Исходные данные

Исходные данные	Номера вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
$b, м$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
$Q, м^3/с$	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0

Продолжение таблицы 8

Исходные данные	Номера вариантов									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
$b, м$	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
i	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2
$Q, м^3/с$	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	19,0	18,0	17,0

Окончание таблицы 8

Исходные данные	Номера вариантов									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
$b, м$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
i	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3
$Q, м^3/с$	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0

Методические указания к решению задачи 8

Искомую глубину воды в канале h_0 при пропуске расхода Q можно определить двумя способами: методом подбора по формуле Шези и с помощью гидравлического показателя русла.

Первый способ

Задаваясь различными значениями h , вычисляют последовательно:

- площадь живого сечения потока ω , $м^2$:

$$\omega = (b + mh)h;$$

- длину смоченного периметра русла χ , м:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2};$$

- гидравлический радиус R , м:

$$R = \frac{\omega}{\chi};$$

- коэффициент Шези C , $\text{м}^{0.5}/\text{с}$:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6};$$

- расходную характеристику K , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$K = \omega C \sqrt{R};$$

- расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = K \sqrt{i}.$$

Все вычисления сводят в таблицу 9.

Таблица 9 – Гидравлические характеристики канала

$h, \text{м}$	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	$R, \text{м}$	$C, \text{м}^{0.5}/\text{с}$	$K, \text{м}^3/\text{с}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$
$h_1 =$	+	+	+	+	+	+
$h_2 =$	+	+	+	+	+	+
$h_3 =$	+	+	+	+	+	+
$h_4 =$	+	+	+	+	+	+
$h_5 =$	+	+	+	+	+	+
$h_6 =$	+	+	+	+	+	+

По данным таблицы 9 строится график $h = f(Q)$. Пользуясь графиком, по заданному значению Q определяют искомое значение h_0 .

Второй способ

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 произвольные глубины, м; K_1 и K_2 - соответствующие этим глубинам расходные характеристики, $\text{м}^3/\text{с}$; 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 (согласно таблице 10 для пяти пар), записывают в сводную таблицу, далее на основании произведенных вычислений определяют среднее

значение гидравлического показателя русла x_{cp} , по которому, используя показательный закон, находят искомую глубину воды в канале

$$h_0 = h_i \left(\frac{K_0}{K_i} \right)^{\frac{2}{x_{cp}}}, \text{ м,}$$

где h_i - любая произвольная глубина воды в канале, м; K_i - соответствующая глубине h_i расходная характеристика, м³/с; K_0 - заданное значение расходной характеристики, м³/с

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i}}, \text{ м}^3/\text{с,}$$

где Q - заданное значение расхода, м³/с; i - заданное значение уклона дна русла.

Результаты расчета представляют в таблице 10.

Таблица 10 – Гидравлические и расчетные характеристики канала

h , м	ω , м ²	χ , м	R , м	C , м ^{0,5} /с	K , м ³ /с	$\lg K$	$\lg h$	$\lg K_1 - \lg K$	$\lg h_1 - \lg h_2$	x	x_{cp}
h_1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
h_2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
h_3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
h_4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
h_5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
h_6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	

Предлагается сравнить результаты, полученные первым и вторым способами.

После нахождения глубины h_0 определяют ширину канала B по верху

$$B = b + 2mh_0, \text{ м.}$$

Рассчитывают среднюю скорость V движения воды в канале

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{(b + mh_0)h_0}, \text{ м/с.}$$

Состояние потока может быть определено по одному из двух параметров:

- по критической глубине h_k ;
- по безразмерному числу Фруда (Fr).

При глубине потока $h_0 > h_k$ - поток находится в спокойном состоянии.

При глубине потока $h_0 < h_k$ - поток находится в бурном состоянии.

При глубине потока $h_0 = h_k$ - поток находится в критическом состоянии.

При критической глубине соблюдается равенство

$$\frac{\omega_k^3}{B_k} = \frac{\alpha Q^2}{g},$$

где ω_k - площадь живого сечения потока при глубине h_k , м²; B_k - ширина потока по свободной поверхности при глубине h_k , м; α - коэффициент Кориолиса $\alpha = 1,1$; Q - заданное значение расхода, м³/с; g - ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

При некотором конкретном значении отношения $\frac{b}{h}$ в каналах прямоугольной и трапецидальной форм поперечного сечения при заданных значениях:

- площади живого сечения потока ω ;
- коэффициента шероховатости n поверхности откосов и дна канала;
- коэффициента заложения откосов m ;
- уклона дна канала i

формируется движение жидкости с максимальными значениями расхода Q и максимальной средней скорости движения жидкости V , когда смоченный периметр принимает минимальное значение.

В этом случае такое сечение канала называется гидравлически наиболее выгодным.

Относительная ширина канала прямоугольной и трапецидальной форм поперечного сечения гидравлически наиболее выгодного профиля определяется по формуле:

$$\beta_{zn} = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m).$$

Учитывая значение площади живого сечения потока ω , рассчитанной по найденной глубине h_0 , методом подбора находят значения величин b и h , отвечающие гидравлически наиболее выгодному сечению канала.

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

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

1. Назовите основные свойства жидкостей.
2. Что называется сжимаемостью жидкостей? Напишите формулу для коэффициента объемного сжатия и раскройте его физический смысл.
3. Что такое вязкость жидкости, чем она характеризуется и от чего зависит?
4. Напишите формулу для силы внутреннего трения в жидкости (закон вязкости Ньютона). Раскройте физический смысл всех величин, входящих в эту формулу.
5. Какой зависимостью связаны между собой динамический и кинематический коэффициенты вязкости жидкости?

ГИДРОСТАТИКА

6. Гидростатическое давление и его свойства. Виды гидростатического давления.
7. Приведите основное уравнение гидростатики.
8. 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 неё параметров), по которой определяют положение центра давления.
10. Как определяют силу давления на горизонтальную плоскую 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 гидравлического 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 α (коэффициента Кориолиса) в уравнении Бернулли для потока реальной жидкости?

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 водомера 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 распределится 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 вакуум?

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 трапецеидальных 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 энергии 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?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 - Значения кинематического коэффициента вязкости воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{cm}^2/\text{c}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{cm}^2/\text{c}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{cm}^2/\text{c}$
1	0,017321	12	0,012396	26	0,008774
2	0,016740	13	0,012067	28	0,008394
3	0,016193	14	0,011756	30	0,008032
4	0,015676	15	0,011463	35	0,007251
5	0,015188	16	0,011177	40	0,006587
6	0,014726	17	0,010888	45	0,006029
7	0,014289	18	0,010617	50	0,005558
8	0,013873	19	0,010356	50	0,005147
9	0,013479	20	0,010105	55	0,005147
10	0,013101	22	0,009892	60	0,004779
11	0,012740	24	0,009186		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2 – Значения предельных расходов воды в трубах круглого сечения при напорном движении

Диаметр условного прохода $D_y, \text{мм}$	$Q, \text{л/с}$
80	9,0
100	11,7
125	16,8
150	21,8
175	29,2
200	46,0
250	71,0
300	79,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 3 - Значения расходной характеристики для неновых стальных труб, работающих в квадратичной области сопротивления ($V \geq 1,2 \text{ м/с}$)

$D_y, \text{мм}$	50	65	75	80	100	115	125	150	175
$K_{кв}, \text{л/с}$	6.1	26.9	32.8	39.5	76.0	99.2	114	180	219

Продолжение таблицы 3

$D_y, \text{мм}$	190	200	225	250	300	350	375	400	450
$K_{кв}, \text{л/с}$	306	379	505	675	1085	1637	1925	2319	3174

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чугаев, Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учебник для гидротехн. специальностей вузов / Р.Р. Чугаев. – Изд. 5-е. – М.: БАСЛЕТ, 2008. – 671 с.
2. Ухин, Б.В. Гидравлика: учеб. пособие / Б.В. Ухин. – М.: Форум: ИНФА – М, 2009. – 462 с.: ил.
3. Кудинов, В.А. Гидравлика: учеб. пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 198 с.: ил.
4. Шейпак, А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник по специальности "Автомобиле- и тракторостроение": [в 2 ч.] Ч. 1 : Основы механики жидкости и газа / А. А. Шейпак . - 5-е изд., перераб. и доп. . - М. : МГИУ , 2006 . - 266 с.
5. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учебник для вузов /Д.В. Штеренлихт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2005. – 655 с.: ил.
6. Калекин, А. А. Гидравлика и гидравлические машины: учеб. пособие для вузов по специальностям: "Технология и предпринимательство", "Проф. обучение (агроинженерия)" / А. А. Калекин . - М. : Мир , 2005. - 511 с.
7. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / под ред. Н.У. Койды. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
8. Справочник по гидравлике / под ред. В.А. Большакова. – 4-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища школа, 1979. – 336 с.
9. Гидравлика: приборы и методы измерения гидравл. величин: метод. пособие к лаборатор. занятиям и для самостоят. работы студентов: ФЭ, ЗДО: специальности: 270112, 270205, 270102, 270105, 280402, 280302, 190601 / [сост.: А. В. Нешатаева, А. Н. Тянин]. - Вологда : ВоГТУ , 2008 . - 30 с.: ил.
10. Гидравлика: тесты для программирован. контроля знаний очной и заоч. форм обучения: ФЭ: специальности: 270112, 270205, 270102, 270105, 280402, 280302, 190601 . Ч. 1 / сост.: А.В. Нешатаева, А.Н. Тянин, М.М. Медиоланская. - Вологда: ВоГТУ, 2008 . – 23 с.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Задача 1	4
Задача 2	5
Задача 3	7
Задача 4	14
Задача 5	18
Задача 6	21
Задача 7	23
Задача 8	25
ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38

Подписано в печать . Усл. печ. л. . Тираж .
Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15