

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Мосты и транспортные тоннели»

Т. Н. Ткачева

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОЛОГИЯ

Задания для выполнения контрольных работ № 1 и № 2
с Методическими указаниями для специальности –
270201 – «Строительство железных дорог, мостов
и транспортных тоннелей» и направления подготовки
«Строительство» для студентов
заочной формы обучения

Екатеринбург
Издательство УрГУПС
2012

УДК 532 (07)
Т48

Ткачева, Т. Н.

Т48 Гидравлика и гидрология : метод. указания /Т. Н. Ткачева. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. – 36 с.

Методические указания разработаны для выполнения контрольных работ для студентов заочной формы обучения специальности 270201 – «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» и направления подготовки «Строительство».

Содержат краткий алгоритм решения задач. Полученные навыки могут быть применены в практической деятельности.

УДК 532 (07)

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета университета*

Автор: Т. Н. Ткачева, старший преподаватель кафедры «Мосты и транспортные тоннели», УрГУПС

Рецензент: Г. В. Десятых, зав. кафедрой «Мосты и транспортные тоннели», доцент, канд. техн. наук, УрГУПС

Учебное издание

Редактор *С. И. Семухина*
Верстка *Н. А. Журавлева*

Подписано в печать 18.12.2012. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,1.
Тираж 100 экз. Заказ 308.

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

© Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС), 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие указания	4
Контрольная работа № 1.....	6
Задача 1	6
Задача 2	8
Задача 3	10
Задача 4	12
Задача 5	15
Контрольная работа № 2	17
Задача 6	17
Задача 7	22
Перечень вопросов для подготовки к экзамену.....	29
Библиографический список	36

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В настоящих методических указаниях приведены задания на контрольные работы № 1 и 2 по гидравлике для студентов специальностей СЖД и ПГС по дисциплине «Гидравлика».

Первая контрольная работа содержит пять задач из общего курса гидравлики, вторая включает две задачи по расчету 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 или в печатном виде 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 должны выполняться на миллиметровке и клеиваться или вшиваться в работу.
7. При построении расчетных графиков нужно указать величины, откладываемые по осям графика, с обозначением их размерностей.
8. В конце работы 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 как по всем контрольным работам, так и по лабораторным работам, которые он должен выполнить и защитить в лаборатории университета. При сдаче экзамена нужно предъявить экзаменатору зачтенные работы и дополнительно их защитить.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Задача 1

Построить эпюры избыточного гидростатического давления воды на стенке плотины ломаного очертания. Определить силы давления на 1 метр ширины вертикальной и наклонной частей плотины (рис. 1) и точки их приложения, если: глубина воды h , высота вертикальной части стены AB ; угол наклона стены BC к горизонту 30° .

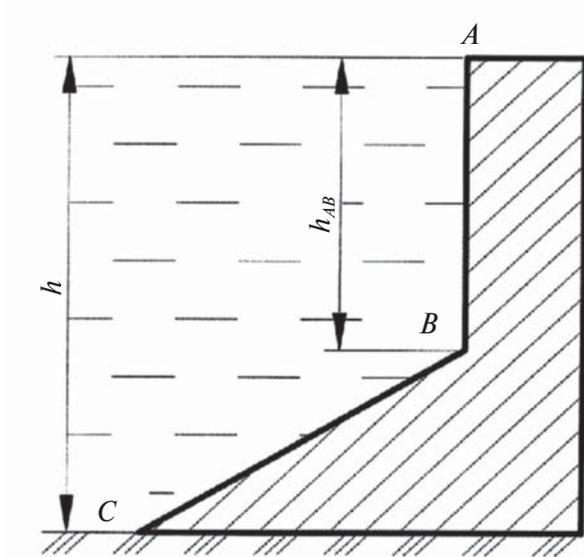


Рис. 1

Таблица 1

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h , м	3,0	4,5	5,5	7,0	7,0	5,0	6,0	8,0	5,5	4,0
h_{AB} , м	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,5	2,5

Указание к решению задачи 1

Для построения эпюр гидравлического давления на стенки AB и BC следует определить избыточное давление в точках A , B и C по формуле:

$$p_{\text{изб}} = \gamma h, \quad (1)$$

где γ — удельный вес воды; $\gamma = 10 \text{ кН/м}^3$; h — глубина погружения данной точки под уровень жидкости, м.

При построении эпюр гидростатического давления следует помнить, что давление всегда направлено перпендикулярно площадке, на которую оно действует.

Сила избыточного гидростатического давления на плоскую стенку вычисляется по формуле:

$$P_{\text{изб}} = p_{\text{цт}} \omega, \quad (2)$$

где $p_{\text{цт}}$ — давление в центре тяжести смоченной поверхности, Па (Н/м^2);
 ω — площадь смоченной поверхности, м^2 .

Точка приложения суммарной силы избыточного гидростатического давления называется центром давления. Положение центра давления определяется по формуле

$$l_{\text{цд}} = l_{\text{цт}} + \frac{I}{l_{\text{цт}} \omega}, \quad (3)$$

где $l_{\text{цд}}$ — расстояние в плоскости стенки от центра давления до свободного уровня жидкости, м;

$l_{\text{цт}}$ — расстояние в плоскости стенки от центра тяжести стенки до свободного уровня жидкости, м;

ω — площадь смоченной поверхности, м^2 ;

I — момент инерции смоченной плоской площадки относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести.

Момент инерции плоской прямоугольной фигуры:

$$I = \frac{bl^3}{12}, \quad (4)$$

где b — ширина стенки, $b = 1 \text{ м}$; l — длина стенки, м.

Задача 2

Определить величину и направление силы гидростатического давления воды на 1 метр ширины вальцового затвора диаметром D (рис. 2).

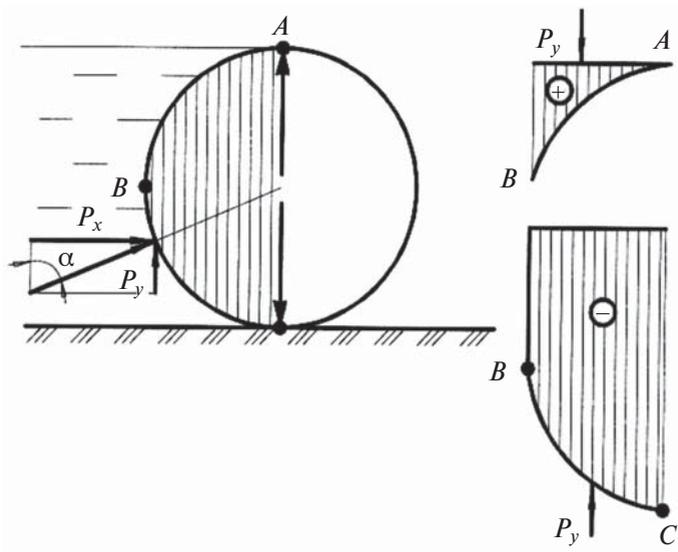


Рис. 2

Таблица 2

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,3	1,7	2,2	2,8	3,5

Указание к решению задачи 2

Суммарная сила избыточного давления воды на цилиндрическую поверхность определяется по формуле

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}, \quad (5)$$

где P_x – горизонтальная составляющая силы избыточного гидростатического давления, H ;

P_y – вертикальная составляющая силы избыточного гидростатического давления, H .

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

$$P_x = \gamma y_{\text{ит}} \omega_y \quad (6)$$

где $y_{\text{ит}}$ – расстояние по вертикали от центра тяжести вертикальной проекции цилиндрической поверхности до уровня воды, м;

ω_y – площадь вертикальной проекции цилиндрической поверхности, м^2 .

Вертикальная составляющая силы избыточного гидростатического давления определяется по формуле

$$P_y = \gamma W, \quad (7)$$

где W – объем тела давления, м^3 .

То есть 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 положительным, а для BC – отрицательным. 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 φ к горизонту:

$$\text{tg}\varphi = \frac{P_x}{P_y}. \quad (8)$$

Задача 3

Определить давление воды p_1 в узком сечении трубопровода (рис. 3, сечение 1–1), если: давление в широкой его части (сечение 2–2) равно p_2 , расход воды, протекающей по трубопроводу, $Q = 5$ л/с, диаметры труб узкого и широкого сечения соответственно d_1 и d_2 .

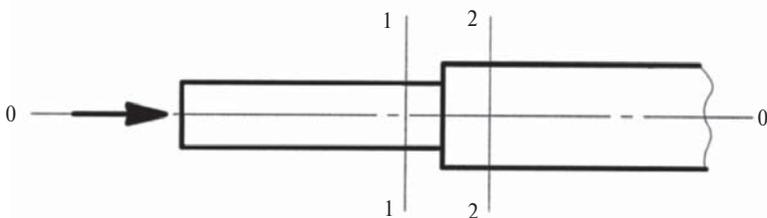


Рис. 3

Режим движения воды в трубопроводе – турбулентный.

Таблица 3

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_2 , кПа	10	10	20	20	30	30	40	40	50	50
d_1 , мм	50	50	50	40	40	40	32	32	25	25
d_2 , мм	100	125	150	125	150	175	80	75	80	75

Указание к решению задачи 3

Для определения давления воды p_2 нужно составить уравнение Д. Бернулли для двух сечений: 1–1 и 2–2 потока воды (индексы при членах уравнения должны соответствовать номерам выбранных сечений).

Плоскость сравнения 0–0 следует провести по оси трубопровода.

Уравнение Д. Бернулли будет иметь вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (9)$$

где z_1 и z_2 – удельная энергия положения, или расстояние от центра тяжести сечений 1–1 и 2–2 до плоскости сравнения 0–0, м; $z_1 = z_2 = 0$, т. к. плоскость сравнения проходит через центры тяжести сечений трубопровода;

$\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ — удельная энергия давления, или высота поднятия воды в пьезометрах, установленных соответственно в сечениях 1–1 и 2–2, м;
 p_1 и p_2 — давление воды в соответствующих сечениях, кН/м²;
 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ и $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ — удельная кинетическая энергия, или скоростная высота в сечениях 1–1 и 2–2, м;
 v_1 и v_2 — средняя скорость соответственно в сечениях 1–1 и 1–2, м/с;
 α_1 и α_2 — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей в соответствующем живом сечении; величина безразмерная, для турбулентного режима движения может быть принята равной единице;
 g — ускорение свободного падения, м/с²;
 h_{1-2} — потеря напора при внезапном расширении потока, определяемая по формуле Борда, м:

$$h_{1-2} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}. \quad (10)$$

После анализа и подстановки значений соответствующих членов уравнения Д. Бернулли можно записать в следующем виде:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g},$$

или

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}.$$

Отсюда:

$$p_1 = \gamma \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right). \quad (11)$$

В этом уравнении, помимо давления p_1 неизвестны скорости v_1 и v_2 . Зная расход воды Q , диаметр труб d_1 и используя уравнение неразрывности:

$$Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = \text{const}, \quad (12)$$

где ω_1 и ω_2 – площади живых сечений 1–1 и 2–2, м²:

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad \omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}; \quad (13)$$

можно определить средние скорости v_1 и v_2 и после их подстановки в уравнение (11) определить давление воды p_1 в сечении 1–1.

Задача 4

Определить диаметр d самотечного трубопровода длиной l , подающего воду из реки в береговой колодец, и разность уровней воды H в колодце и реке (рис. 4), если: расход воды, забираемой насосом из берегового колодца на нужды водоснабжения, Q ; расчетная скорость движения воды по самотечному трубопроводу $v = 0,7 + 1,5$ м/с; эквивалентная шероховатость трубы $k_s = 1$ мм; температура воды t °С.

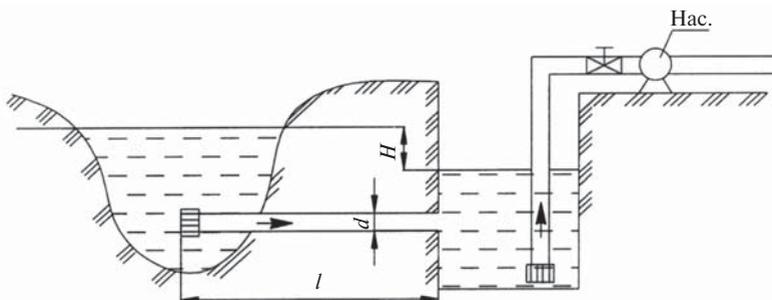


Рис. 4

Примечания:

Скоростями движения воды на свободной поверхности в реке и береговом колодце следует пренебречь.

Вычисленный диаметр самотечной трубы следует округлить до ближайшего большего стандартного значения: 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 мм.

Коэффициенты местных сопротивлений принять:

на входе в трубу, имеющую сетку с обратным клапаном $C_{вх} = 3,0$;

на выходе в трубу, имеющую сетку с обратным клапаном, водой $C_{вых} = 1,0$.

Таблица 4

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , л/с	20	40	60	80	100	80	60	40	20	50
t , °С	20	15	10	5	20	15	5	10	15	20 50
1, м	50	75	100	125	150	200	150	100	75	

Указание к решению задачи 4

Зная расход Q и задаваясь средней скоростью v движения воды по самотечному трубопроводу, следует определить площадь поперечного сечения трубы:

$$\omega = \frac{Q}{v}, \quad (14)$$

а затем диаметр трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}}. \quad (15)$$

Полученное значение диаметра нужно округлить до ближайшего большего стандартного значения $d_{ст}$, после чего вычислить фактическую скорость движения воды в трубе:

$$v_{\phi} = \frac{Q}{v} = \frac{4Q}{\pi d_{ст}^2}. \quad (16)$$

Чтобы определить разность уровней воды H в береговом колодце и реке, следует составить уравнение Д. Бернулли для двух сечений потока: сечения 1–1 на поверхности воды в реке и сечении 2–2 на поверхности воды в береговом колодце, плоскость сравнения провести по уровню воды в береговом колодце, т. е. по сечению 2–2:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2}. \quad (17)$$

Далее необходимо провести анализ членов уравнения: $z_1 = H$; $z_2 = 0$, так как плоскость сравнения проходит по сечению 2–2;

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{ат}}{\gamma}, \text{ так как давление на свободной поверхности в реке}$$

и колодце равно атмосферному $p_{ат}$;

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 \text{ и } \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = 0, \text{ так как по условию задачи } v_1 \approx 0 \text{ и } v_2 \approx 0.$$

Подставляя значения параметров, получим расчетный вид уравнения:

$$H = h_{1-2}, \quad (18)$$

где h_{1-2} – потери напора при движении воды по самотечной трубе.

Здесь

$$h_{1-2} = h_m + h_l, \quad (19)$$

где h_m – потери напора в местных сопротивлениях, м;

h_l – потери напора по длине, м.

Потери напора в местных сопротивлениях вычисляются по формуле Вейсбаха

$$h_m = \sum \zeta = (\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вых}}) \frac{v_{\text{ф}}^2}{2g}, \quad (20)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ и $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициенты местных сопротивлений соответственно входа (приемного клапана с сеткой) и выхода;

$v_{\text{ф}}$ – фактическая скорость движения воды по трубопроводу, м/с.

Потери напора по длине за счет трения жидкости о стенки русла определяются по формуле Дарси:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_{\text{ф}}^2}{2g}, \quad (21)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

l – длина самотечного трубопровода;

d – диаметр самотечного трубопровода.

Коэффициент λ может быть определен по формуле А. Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{R_c} \right)^{0,25}, \quad (22)$$

где k_s – эквивалентная шероховатость, мм;

R_c – число Рейнольдса,

$$R_c = \frac{v_{\text{ф}} \cdot d}{\nu}. \quad (23)$$

Здесь ν – кинематический коэффициент вязкости, м²/с.

Кинематический коэффициент вязкости зависит от рода жидкости и температуры. Для воды значение ν определяется в зависимости t температуры из табл. 5:

Таблица 5

t °C	20	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$\nu \cdot 10^4, \text{м}^2/\text{с}$	0,010	0,0167	0,0157	0,0147	0,0139	0,0131	0,0124	0,0117	0,0112	0,0106

Подставляя значения h_m и h , в расчетную зависимость (19), определяют разность уровней воды H в реке и береговом колодце.

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. 5).

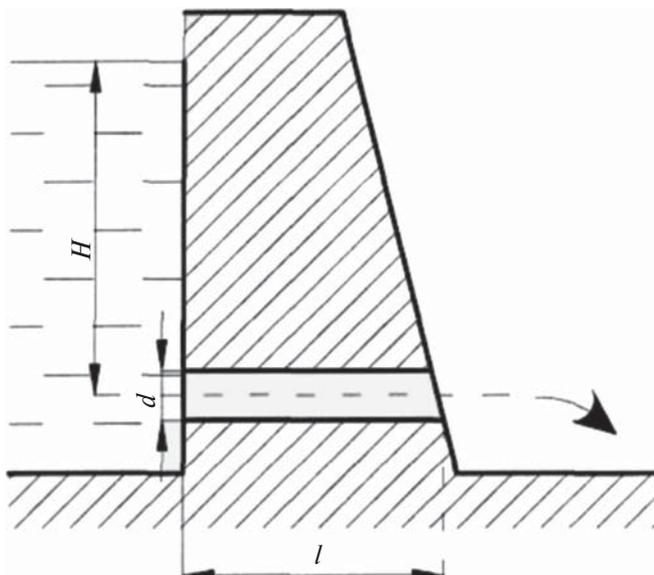


Рис. 5

Таблица 6

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	12	9	8	8	11	9	12	9	12	11
d , м	1,0	1,0	1,25	1,25	1,50	1,50	1,75	1,75	2,0	2,0
l , м	7,0	5,0	3,0	8,0	4,0	6,0	5,0	7,0	12,0	8,0

Указание к решению задачи 5

Расход воды, проходящей через водоспускную трубу, определяется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (24)$$

где μ – коэффициент расхода; ω – площадь сечения трубы, м²; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор над центром трубы, м.

Для определения коэффициента расхода 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:

Длина трубы должна быть: $4d \leq l < 6d$

Максимальный вакуум в насадке должен быть меньше $H_{\text{вак}}^{\text{max}} = 0,8$.

Значение $H_{\text{вак}}^{\text{max}}$ вычисляется по формуле

$$H_{\text{вак}}^{\text{max}} = 0,8 \text{ Н}, \quad (25)$$

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 $H_{\text{вак}}^{\text{max}} > 0,8$ м), 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:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{вх}} + \lambda \frac{l}{d}}}, \quad (26)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент гидравлического трения, $\lambda = 0,02$.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Задача 6

Дорожная насыпь, имеющая высоту $H_{\text{нас}}$, ширину земляного полотна $B = 12$ м и крутизну заложения откосов $m = 1,5$, пересекает водоток с переменным расходом, для пропуска которого в теле насыпи укладывается с уклоном; i_T – круглая железобетонная труба, имеющая обтекаемый оголовок.

Требуется:

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

Определить фактическую скорость движения воды в трубе v_{ϕ} при пропуске максимального расхода и глубину H воды перед трубой, соответствующую этому расходу.

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

Таблица 7

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q_{max} , м ³ /с	4,5	6	8	3,9	14,5	3	12,8	1,7	10	5
$H_{\text{нас}}$, м	3,0	2,6	3,2	3,6	5,0	2,2	4,1	2,4	5,4	4,0
i_T , м	0,008	0,003	0,020	0,006	0,004	0,01	0,003	0,015	0,012	0,005

Указание к решению задачи 6

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 (двухочковые, трехочковые 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:

Безнапорный, когда входное сечение не затоплено и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность (рис. 6, а)

Полунапорный, когда входное сечение трубы затоплено, т. е. на входе труба работает полным сечением, а на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность (рис. 6, б);

Напорный, когда труба работает полным сечением, т. е. все поперечное сечение трубы по всей длине полностью заполнено водой (рис. 6, в).

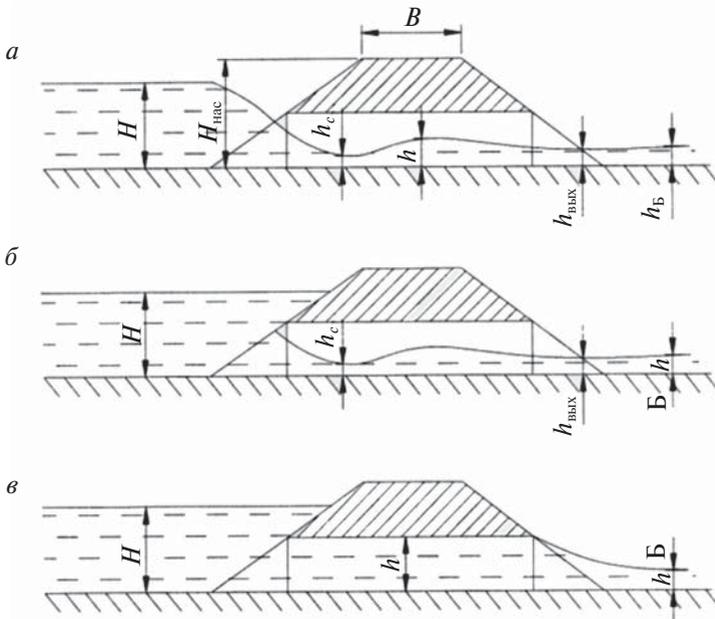


Рис. 6

Безнапорным режим бывает при

$$H \leq 1,2 d, \quad (27)$$

где H – напор (глубина) воды перед трубой; d – диаметр трубы.

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

$$Q = \mu \cdot b_{\kappa} \sqrt{2g} H^{3/2}. \quad (28)$$

где μ – коэффициент расхода (принять $\mu = 0,335$); b_{κ} – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной (определяется по графику, представленному на рис. 7).

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

Пропускная способность полунапорных труб с учетом уклона дна определяется по формуле

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g[H - (0,708 - 2i_T)d]}, \quad (29)$$

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:

1. Входной оголовок должен быть обтекаемым;
2. $H > 4 d$;
3. $i_T < i$, где i – гидравлический уклон.

Пропускная способность напорных труб вычисляется по формуле:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g(H - i_T l - 0,85d)}, \quad (30)$$

Коэффициент расхода μ определяется зависимостью

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\text{вх}} + \lambda \frac{l}{d}}}, \quad (31)$$

где $\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления на входе, для обтекаемых оголовков, $\xi_{\text{вх}} = 0,2$; λ – гидравлический коэффициент трения (принять $\lambda = 0,025$); l – длина трубы.

При напорном режиме трубы обладают наибольшей пропускной способностью.

В соответствии с вышеизложенным, задача решается в следующем порядке.

Исходя из заданной допустимой скорости движения воды в трубе $v_{\text{доп}}$ и определяются площадь живого сечения потока и диаметр напорной трубы:

$$d = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}}. \quad (32)$$

Найденный диаметр округляется до ближайшего большего стандартного значения $d_{\text{см}}$ (0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0 м) и вычисляется фактическая скорость движения воды:

$$v_{\text{ф}} = \frac{Q}{\frac{\pi d_{\text{ст}}^2}{4}}. \quad (33)$$

Далее определяется длина трубы l . При ширине земляного полотна B , высоте насыпи $H_{\text{нас}}$ и крутизне заложения ее откосов m длина трубы $l = 2H_{\text{нас}}m + B$.

После этого вычисляется значение коэффициента расхода:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\text{вх}} + \lambda \frac{l}{d}}}. \quad (34)$$

Затем из формулы (30) определяется напор воды перед трубой:

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2 \omega^2 2g} + 0,85d - i_1 l. \quad (35)$$

При этом должны быть выдержаны условия: $H > 1,4d$; $H < (H_{\text{нас}} - 0,5)$ и $i_1 < i$. Проверка последнего условия проводится на основании формулы Шези: $Q = \omega C \sqrt{Ri} = K \sqrt{i}$, откуда гидравлический уклон:

$$i = \frac{Q^2}{K^2}, \quad (36)$$

где K – расходная характеристика, $K = \omega C \sqrt{R}$, м³/с;

C – коэффициент Шези, $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$, м/с;

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

Верхний предел существования полунапорного режима определяется условием $H = 1,4d$ предельный расход, вычисляемый по формуле (28), будет:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g[1,4d - (0,708 - 2 i_r) d]} \quad (37)$$

Верхний предел существования безнапорного режима определяется условием $H = 1,2d$, а соответствующий ему расход – см. формулу (30):

$$Q = \mu \cdot b_k \sqrt{2g} ((1,2d)^{\frac{3}{2}}).$$

Для определения b_k вычисляется отношение: $\frac{Q}{b_k} = \mu \sqrt{2g} H^{3/2}$, затем находится 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. 7) определяется соответствующая этому параметру величина $\frac{b_k}{d}$, по которой определяется значение b_k .

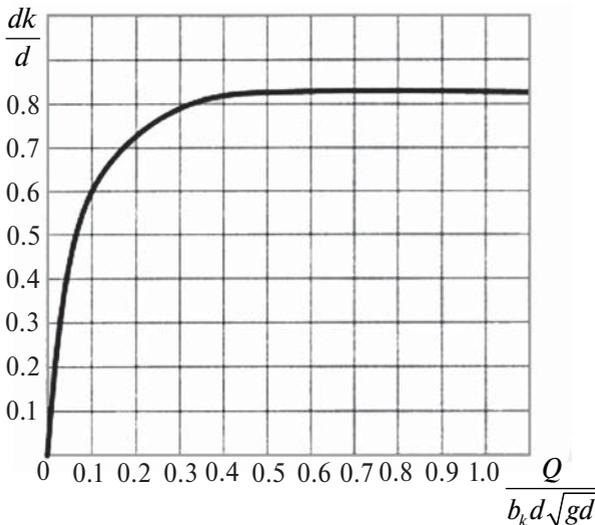


Рис. 7

Задача 7

Магистральный оросительный канал трапецеидального сечения, имеющий ширину по дну b , крутизну откосов $m = 1,5$, коэффициент шероховатости стенок $n = 0,025$, проложенный с уклоном i и пропускающий расход Q , пересекает железнодорожную линию.

На пересечении железной дороги с каналом установлен малый однопролетный мост, имеющий прямоугольное сечение. Возвышение низа пролетного строения моста над дном русла H_m .

Требуется:

Определить ширину отверстия моста b_m для пропуска расхода Q , если максимально допускаемая скорость движения воды в подмостовом русле $v_{\text{доп}}$, а минимально допустимое превышение низа пролетного строения над уровнем подпертого горизонта перед мостом $a_{\text{мин}} = 0,5\text{ м}$.

Найти глубину воды H перед мостом при пропуске через выбранное отверстие моста заданного расхода.

Вычислить скорости движения воды перед мостом v , за мостом v_0 и в расчетном сечении подмостового русла v_p .

Определить ширину потока по урезу воды перед мостом B и за мостом B_0 .

Примечание: При решении задачи принять коэффициент расхода $\mu = 0,35$; критерий затопления $N = 0,8$; расчетный коэффициент $k = 0,52$.

Таблица 8

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B , м	11	8	5	10	4	12	6	7	9	3
I	0,0001	0,0009	0,001	0,0005	0,002	0,0015	0,0007	0,0012	0,006	0,0003
Q , м ³ /с	13,6	10,0	24,2	18,5	5,3	5,9	6,8	10,2	16,3	2,4
H_m , м	3,0	3,8	3,5	2,5	2,8	3,2	2,9	2,0	2,2	1,7
$V_{\text{доп}}$	5,0	2,7	4,5	2,5	4,0	1,7	3,8	4,2	2,5	3,4

Указания к решению задачи 7

К малым мостам относятся мосты, полная длина которых не превышает 25 м. Согласно действующим типовым проектам малые мосты имеют стандартные отверстия: 2; 3; 4; 5; 6; 7,5; 10; 12,5 и 20 м.

Малый мост обычно стесняет поток в плане, так как отверстие моста b_m принимают меньше ширины потока, что вызывает повышение уровня воды в верхнем бьефе, т. е. перед мостом.

С точки зрения гидравлики отверстие малого моста работает по схеме водослива с широким порогом.

В зависимости от соотношения между глубиной воды в нижнем бьефе $h_{нб}$ и напором воды перед мостом H различают свободное (незатопленное) и несвободное (затопленное) протекание потока в подмостовом русле. В первом случае глубина потока в нижнем бьефе $h_{нб}$ не влияет на величину напора H перед мостом, во втором – влияет.

Вид протекания потока устанавливается по критерию затопления N .

Если $\frac{h_{нб}}{H} < N$, то подмостовое русло работает по схеме незатопленного водослива с широким порогом; если $\frac{h_{нб}}{H} \geq N$, то – по схеме затопленного водослива.

В первом случае (рис. 8, а) в конце входного участка устанавливается глубина h_p (меньше критической в подмостовом русле h_k), которую принимают в качестве расчетной и определяют по формуле

$$h_p = kH. \quad (38)$$

Во втором случае (рис. 8,б) глубина в конце входного отверстия h_p больше критической, но меньше бытовой глубины потока $h_{нб}$ в несстесненном русле.

Расчетная глубина воды под мостом определяется по формуле

$$h_p = k_n H. \quad (39)$$

Коэффициент k_n зависит от $n = \frac{h_{нб}}{H}$ и может быть определен по табл. 9:

Таблица 9

n	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99
σ_3	1,00	0,97	0,93	0,89	0,84	0,78	0,71	0,62	0,52	0,37	0,27
K_n	0,63	0,67	0,70	0,74	0,78	0,82	0,85	0,89	0,93	0,96	0,98

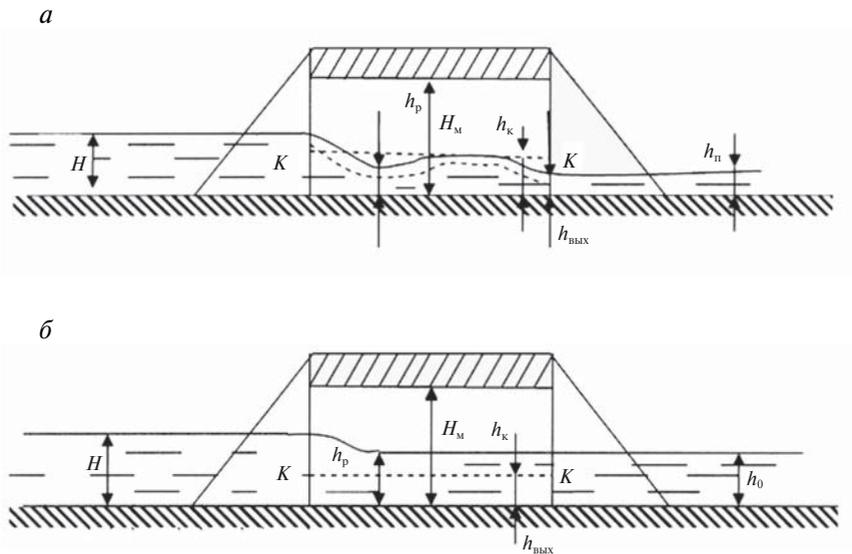


Рис. 8

Во всех случаях пропускная способность малых мостов определяется по формуле

$$Q = \mu b_M \sqrt{2g} h^{2/3} \sigma_3, \quad (40)$$

где μ – коэффициент расхода, определяемый формулой устоев моста (для условий данной задачи $\mu = 0,35$);

b_M – величина отверстия моста;

H – напор перед мостом (глубина потока перед мостом);

σ_3 – коэффициент затопления, значение которого принимаются по табл. 2.

Отсюда необходимое отверстие моста

$$b_M = \frac{Q}{\sigma_3 \mu \sqrt{2g} h^{2/3}}. \quad (41)$$

Скорость потока в расчетном сечении определяется по формуле

$$v_p = \frac{Q}{b_M h_p}, \quad (42)$$

где h_p – расчетная глубина потока в подмостовом русле, принимаемая в зависимости от схемы протекания потока.

Для определения схемы протекания потока необходимо знать глубину потока в нижнем бьефе $h_{\text{нб}}$, которая равна нормальной глубине потока h_0 в условиях равномерного режима движения.

Искомая глубина h_0 находится методом подбора по формуле Шези

$$Q = wC\sqrt{Ri}, \quad (43)$$

где $w = (b + mh)h$ – площадь живого сечения потока в трапециевидальном русле (b – ширина канала по дну, m – крутизна откосов, h – глубина потока);

$$R = \frac{w}{\chi} \text{ – гидравлический радиус;}$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \text{ – длина смоченного периметра русла;}$$

i – уклон дна канала;

C – коэффициент Шези, вычисляемый по формуле Маннинга

$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ (n – коэффициент шероховатости стенок русла, для условий данной задачи $n = 0,025$).

Произведение величин $wC\sqrt{R} = K$ называется расходной характеристикой или модулем расхода.

Таким образом, $Q = K\sqrt{i}$. При $i = 1$ $Q = K$. Следовательно, величина K равна расходу в данном русле при заданной глубине и уклоне дна $i = 1$.

Нахождение искомой нормальной глубины h_0 ведется в следующем порядке: задаваясь разными значениями h , вычисляем последовательно величины w , χ , R , C и K . Все вычисления сводим в таблицу:

Таблица 10

h , м	w , м	χ , м	R , м	C , м ^{0.5} /с	$K = wC\sqrt{R}$, м ³ /с
h_1					K_1
h_2					K_2
h_3					K_3

По данным этой таблицы строим кривую связи $K = f(h)$ (рис. 9). Определяем заданное значение модуля расхода $K_{\text{зад}} = \frac{Q}{\sqrt{i}}$. По кривой связи $K = f(h)$ находим искомую глубину h_0 , соответствующую $K_{\text{зад}}$, и по h_0 вычисляем w , χ , R и C .

По формуле Шези выполняем проверку

$$Q = wC\sqrt{Ri}.$$

Полученное значение Q должно равняться заданному.

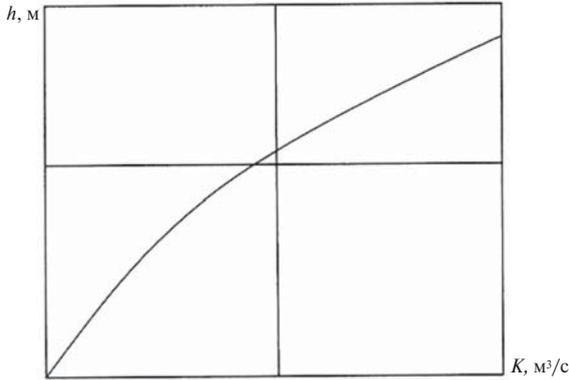


Рис. 9

При подборе отверстия моста будем руководствоваться допустимой скоростью движения воды под мостом $v_{\text{доп}}$.

Исходя из допустимой скорости, определяем величину напора перед мостом в предположении незатопленной схемы протекания ($\sigma_3 = 1$).

$$Q = v_{\text{доп}} b_m h_p = v_{\text{доп}} b_m kH = mb_m \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (44)$$

Откуда

$$H = \frac{v_{\text{доп}}^2 k^2}{m^2 2g} \quad (45)$$

По полученной величине H и ранее найденной величине $h_0 = h_{\text{нб}}$ уточняем схему протекания воды под мостом. Если $\frac{h_0}{H} < N$, то подмостовое русло действительно не затоплено. Если $\frac{h_0}{H} > N$, то подмостовое русло затоплено и в этом случае нужно произвести пересчет величины H .

Так как коэффициент затопления σ_2 заранее неизвестен, расчеты ведутся последовательным приближением. При выполнении таких расчетов

вначале следует установить наибольшую возможную скорость течения в подмостовом русле, при которой будет иметь место затопленное протекание потока. Эта скорость определяется по формуле

$$v_{\max} = \left(\frac{gh_0^3 \sqrt{2\mu^2}}{N} \right)^{1/2} \quad (46)$$

Если $v_{\max} > v_{\text{доп}}$, то для дальнейшего расчета принимается допускаемая скорость $v_{\text{доп}}$; если $v_{\max} < v_{\text{доп}}$, то принимается наибольшая возможная скорость v_{\max} .

Пересчет величины H производим по формуле

$$H = \frac{v_{\text{доп}}^2 k_n^2}{\mu^2 2g\sigma_3^2} \quad (47)$$

(при $v_{\max} < v_{\text{доп}}$ вместо $v_{\text{доп}}$ в формулу подставляется величина v_{\max}). Расчет ведем методом последовательных приближений, начиная с граничных значений σ_2 и k_n при $n = 0,8$ (см. табл. 9). По вычисленному значению H определяем величину $n_1 = \frac{h_0}{H}$ и сравниваем ее с принятой $n = 0,8$.

При $n_1 \neq n$ задаемся новой величиной $n > 0,8$, по той же таблице находим новые значения σ^3 и k_n , соответствующие принятому n , определяем новую величину H и т. д. до тех пор, пока величина $n = \frac{h_0}{H}$, соответствующая вычисленному значению H , не совпадет с принятой.

Вычисленное значение напора перед мостом H сравниваем с максимально допустимым напором $H_{\max} = H_m - a_{\min} = H_m - 0,5$. Если $H < H_{\max}$, то производим расчет отверстия моста по формуле

$$b_m = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH^{2/3}} \sigma_3}. \quad (48)$$

Полученное значение b_m округляем в большую сторону до стандартного $b_{m'}$, после чего производим вычисление нового напора

$$H = H_3 \sqrt[3]{\left(\frac{b_m}{b_{m'}} \right)^2}. \quad (49)$$

Если $n_1 = \frac{h_0}{H} \neq n = \frac{h_0}{H}$, то, задаваясь новой величиной n и определяя по табл. 9 соответствующее ей значение σ_2 , выполняем пересчет напора воды перед мостом по формуле

$$H_2 = \left(\frac{Q}{mb_{m_1} \sqrt{2g\sigma_3}} \right)^{2/3} \quad (50)$$

и т. д. до тех пор, пока величина n , соответствующая вычисленному значению H , не совпадет с принятой. Последнее значение H принимается за расчетное.

Скорость движения воды перед мостом

$$v = \frac{Q}{\omega}, \quad (51)$$

где $\omega = (b + mH)H$ – площадь живого сечения потока в трапециевидальном русле перед мостом.

Скорость движения воды за мостом (при нормальной глубине потока h_0)

$$v_0 = \frac{Q}{(b + mh_0)h_0}. \quad (52)$$

Скорость движения в подмостовом русле

$$v_p = \frac{Q}{bh_p}, \quad (53)$$

где $h_p = kH$ – при незатопленной схеме протекания;

$h_p = k_n H$ – при затопленной схеме протекания.

Если $H > H_{\max}$, то расчет отверстия моста производим, исходя из максимально допустимого напора H_{\max} . По отношению $\frac{h_0}{H_{\max}}$ определяем схему протекания потока и соответствующее значение σ_3 , после чего находим величину

$$b_m = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} H_{\max}^{3/2} \sigma_3} \quad (54)$$

которую округляем до стандартного большего значения, после чего описанным выше способом уточняем значение H и определяем величины v и v_p . Значения величин B и B_0 определяем по формулам:

$$B = b + 2mh, \quad (55)$$

$$B_0 = b + 2mh_0. \quad (56)$$

Перечень вопросов для подготовки к экзамену

I. Основные физические свойства жидкостей

1. Назовите основные физические свойства жидкостей. Дайте определение каждому из них.
2. Что называется сжимаемостью жидкостей? Напишите формулу для коэффициента объемного сжатия и раскройте его физический смысл.
3. Что называется вязкостью 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? Выведите размерность этих коэффициентов.

II. Гидростатика

6. Гидростатическое давление и его свойства. Виды гидростатического давления.
7. Выведите 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 определяется сила 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 определяется положение центра давления.
10. Как определяется сила давления на горизонтальную плоскую стенку? В чем заключается сущность «гидростатического парадокса»?
11. Как определяются горизонтальная и вертикальная 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?

III. 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 α 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 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.

IV. 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 определяется потеря 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?

V. Движение жидкости в напорном трубопроводе

42. Приведите основные формулы для расчета напорных трубопроводов.
43. Какая величина называется расчетной характеристикой или модулем расхода? По какой формуле определяется расходная характеристика 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 называется 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 пояснение каждому параметру, входящему в эту формулу. В каком случае гидравлический удар называется непрямым? По какой расчетной зависимости определяется повышение давления при непрямом гидравлическом ударе? Каковы 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?

VI. Истечение жидкостей 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 насадок – внешний цилиндрический или конический расходящийся – имеет большую пропускную способность, если площади входных сечений этих насадок 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 вто-

ром — 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?

VII. 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 формулу для определения гидравлических элементов жидкого сечения в трапецеидальных руслах.
66. Перечислите основные типы задач по расчету каналов и методы их решения.
67. Как определяется глубина наполнения канала и средняя скорость движения воды в канале?
68. Как определяется ширина канала по дну при заданных расходе воды, уклоне дна, глубине наполнения, коэффициенте шероховатости стенок русла и коэффициенте величины откоса?
69. Дайте пояснение, что такое гидравлический показатель русла и как он вычисляется. 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?

VIII. 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 определяется критическая глубина?
 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 формулу 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?

IX. 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.

Х. Движение грунтовых вод

85. Что называется фильтрацией? Что такое коэффициент фильтрации? В чем отличие ламинарной фильтрации от турбулентной?
86. Как определяются скорость и расход грунтового потока при равномерном движении для ламинарного и турбулентного режимов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угинчус А. А., Чугаева Е. А. Гидралика. – Л.: Стройиздат, 1971.
2. Константинов Ю. М. Гидравлика. – Киев: Вища школа, 1981.
3. Чугаев Р. Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1970.
4. Богомолов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика. – М.: Стройиздат, 1972.
5. Большаков В. А., Константинов Ю. М. и др. Справочник по гидравлике. – Киев: Вища школа, 1977.
6. Альтшуль А. Д., Калицун В. И. и др. Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат, 1976.
7. Примеры гидравлических расчетов под ред. Н. М. Константинова. – Изд. 3-е. – М.: Транспорт., 1987.
8. Большаков В. А., Константинов Ю. М. и др. Сборник задач по гидравлике. – Киев: Вища школа, 1979.