

Приложение 2

Стандартные отверстия дорожных труб (м):

- круглые: 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0.
- прямоугольные: одноочковые 2,0; 2,5; 3,0.
двухочковые 2x2,2; 2x2,7; 2x3,2.

УРАЛЬСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

Кафедра энергетики

С.В. Звягин

Программа, методические указания и контрольные
задания по курсу «Механика жидкости и газа» для
студентов заочной формы обучения
по специальности 2910

Екатеринбург 2000

Цель данных методических указаний – помочь студентам специальности 2910 при изучении курса «Механика жидкости и газа». В методических указаниях приводится программа курса, контрольные задачи, краткие пояснения по их решению и примеры решения задач.

Перед решением задач необходимо прочесть рекомендуемую учебную литературу, изучить общие указания к решению задач данного типа и ознакомиться с примерами решения таких задач.

Решение задач рекомендуется начать с внимательного изучения условий и рисунков. Следует переписать условие задачи и заданные величины полностью, начертить рисунок. В ходе решения нужно давать краткое пояснение каждого этапа решения задачи, написать расчетную формулу и расшифровать величины, входящие в нее. Для всех величин, используемых в задаче, необходимо применять одну и ту же систему единиц измерения. После написания формулы необходимо проставить в том же порядке цифровые данные и написать ответ в той же единице измерения, в которой производился расчет.

Решение данных задач позволит проработать и закрепить знания по основным разделам курса «Механика жидкости и газа». Контрольная работа №1 включает в себя следующие разделы:

- 1) гидростатика (задачи 1 – 5);
- 2) гидродинамика (6 – 10);
- 3) истечение жидкости из отверстий и насадков (11–15);

контрольная работа №2:

- 4) равномерное движение жидкости в открытых руслах (11-20);
- 5) водопропускные дорожные сооружения (21-25);
- 6) движение грунтовых вод (26-30).

Каждый студент выполняет контрольную работу по индивидуальному заданию. Номера задач определяются по таблице в зависимости от сочетания букв в фамилии студента. Номер первой задачи устанавливается по первой букве фамилии, второй – по второй букве и т.д. Если фамилия студента содержит меньше шести букв, то номера последующих задач устанавливаются по последней букве фамилии. Варианты исходных данных к задачам определяются по последней цифре номера зачетной книжки студента. Например, студент Иванов (зачетная книжка 60501) выполняет задачи 2,6,11,18,23,26, вариант – 1. Студент Ким (номер зачетной книжки 50426) выполняет задачи 2,7,13,18,23,28, вариант – 6.

Номера задач контрольных работ

	А, б, в, г, д,	Е, ё, ж, з, и,	Л, м, н,	С, т, у, ф,	Щ, щ, ь, ы, ы,
		й, к	о, л, р	х, ц, ч	э, ю, я
1 задача	1 ✓	2	3 ✓	4	5
2 задача	6	7	8 ✓	9	10 ✓
3 задача	11 ✓	12	13 ✓	14	15
4 задача	16 ✓	17 ✓	18 ✓	19	20
5 задача	21 ✓	22	23 ✓	24	25
6 задача	26	27 ✓	28 ✓	29	30

1. Рабочая программа

1.1. Введение

Определение жидкости. Капельные и газообразные жидкости. Силы, действующие в жидкости. Поверхностное натяжение. Растворимость газа в жидкости. Модель идеальной жидкости

1.2. Гидростатика

Давление и его свойства. Уравнения равновесия жидкости (уравнения Эйлера). Основное уравнение гидростатики. Манометрическое давление и вакуум. Пьезометрический напор. Приборы для измерения давления. Закон Паскаля. Сила давления жидкости на криволинейные поверхности. Центр давления. Сила давления жидкости на плоские поверхности. Тела давления. Закон Архимеда. Плавание и остойчивость плавящихся тел.

1.3. Гидродинамика

Установившееся и неустановившееся движение жидкости. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера). Линия тока, трубка тока, элементарная струйка. Уравнение неразрывности. Уравнения Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости и потока реальной жидкости. Энергетическое и геометрическое толкования уравнения Бернулли. Гидравлический и пьезометрический уклоны. Гидравлические элементы потока.

1.4. Потери напора

Потери напора по длине и местные потери напора. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Число Рейнольдса. Основное

уравнение равномерного движения жидкости. Формулы Шези для определения скорости и расхода. Коэффициент Шези. Ламинарное движение в круглой трубе. Распределение скоростей по живому сечению. Определение расхода и потерь напора при ламинарном движении. Коэффициент Кориолиса.

Турбулентное движение. Пульсация скорости и давлений. Осредненная скорость. Касательные напряжения. Распределение скоростей по живому сечению. Потери напора в трубах. Формула Дарси. Шероховатость стенок. Гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы. График Никурадзе. Формулы для определения коэффициента гидравлического трения.

Виды местных сопротивлений. Резкое расширение потока. Формула Борда. Коэффициенты местных сопротивлений. Формула Вейсбаха. Местные потери напора при ламинарном и турбулентном течении жидкости. Диффузор и конфузор.

1.5 Гидравлический расчет трубопроводов

Гидравлически короткие и гидравлически длинные трубопроводы. Расчет простого трубопровода. Сифонный трубопровод. Последовательное и параллельное соединение труб. Неустановившееся движение жидкости в трубопроводах. Гидравлический удар. Формула Н.Е. Жуковского для определения ударного давления. Способы борьбы с гидравлическим ударом.

1.6. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке. Коэффициент сжатия струи. Совершенное и несовершенное сжатие. Полное и неполное сжатие. Коэффициенты скорости и расхода. Формулы для определения скорости истечения и расхода. Истечение через цилиндрический насадок. Конически сходящиеся и расходящиеся насадки. Истечение через большое отверстие. Истечение при переменном напоре.

1.7. Равномерное движение в открытых руслах

Элементы живого сечения каналов. Формула Шези. Коэффициент Шези и формулы для его определения. Допустимые скорости движения воды в каналах. Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала. Расчет каналов.

1.8. Истечение через водосливы

Классификация водосливов. Водосливы с тонкой стенкой. Расчетная формула. Коэффициент расхода. Условия затопления. Боковое сжатие. Водослив с широким порогом. Расчетная формула. Коэффициент расхода. Понятие об удельной энергии сечения. Глубина на пороге. Условия заполнения водослива. Водослив практического профиля. Водосливы – водомеры.

1.9. Водопронусные дорожные сооружения

Особенности протекания потока через малые мосты и безнапорные трубы. Малые мосты. Гидравлический расчет безнапорных дорожных труб и труб с затопленным входом. Выходные участки малых водопронусных сооружений.

1.10. Движение грунтовых вод

Движение жидкости в пористой среде. Основной закон ламинарной фильтрации (закон Дарси). Фильтрация через земляную плотину. Дренажные трубы и дренажные галереи.

2. Учебная литература

1. Осипов П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод. М.: Лесн. пром – сть, 1981.
2. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: Учебник /Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. М.:Машиностроение. 1982.
3. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т. Некрасов Б.Б. Справочное пособие. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. Минск: Высш. Шк., 1976.
4. Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика. Основы гидрологии. М.: Энергия, 1977.

3. Условия задач

Ниже приводятся условия задач. Рисунки к задачам даны в приложении 1.

Задача 1

Определить силу, действующую на болты крышки бака, заполненного жидкостью плотностью ρ . Угол наклона крышки α . В сечении бак имеет форму квадрата со стороной a . Манометр показывает давление P_m .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кг/м ³	750	800	850	900	950	1000	950	900	850	800
α , °	45	60	90	90	45	60	90	90	45	60
a , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,0	2,0	1,5	1,0
P_m , Мпа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Задача 2

Плоский затвор, закрывающий выпускное отверстие в плотине, установлен под углом 70° к горизонту. Высота затвора h , ширина b . Уровень воды H . Определить силу давления воды на затвор.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
b , м	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	2,0	2,2	2,4
H , м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 3

Определить силу давления воды на боковую стенку плотины, расположенную под углом α к горизонту. Длина плотины l , уровень воды H .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
α , °	45	45	45	60	60	60	70	80	90	90

Задача 4

Определить суммарную силу гидростатического давления, действующую на затвор радиусом R и шириной b . Уровень воды H .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R, м$	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5
$b, м$	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0
$H, м$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 5

Определить суммарную силу давления, действующую на затвор радиусом R и шириной b . Глубина погружения центра тяжести затвора H . Угол затвора α .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R, м$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0
$b, м$	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$H, м$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha, ^\circ$	90	90	90	90	90	60	60	60	60	60

Задача 6

Определить расход воды плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, вытекающей из бака через трубу длиной l и диаметром d под напором H . Коэффициенты сопротивления: входа $\xi_{вх} = 0,5$, крана $\xi_{кр} = 5,5$, колена $\xi_{к} = 1,5$, выхода $\xi_{вых} = 1$. Трубу считать гидравлически гладкой.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, мм$	20	25	32	40	40	50	50	75	80	100
$L, мм$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, мм$	0,6	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0

Задача 7

Определить расход воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) в трубопроводе длиной l и диаметром d для подачи ее на высоту H . Располагаемое давление $P_{рас}$. Коэффициенты сопротивления: задвижки $\xi_{з}$, поворота $\xi_{п} = 1,1$, выхода в бак $\xi_{вых} = 1$, шероховатость трубы $\Delta = 0,2 \text{ мм}$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l, м$	10	12	14	12	15	18	20	24	8	10
$d, м$	75	100	125	50	75	100	125	150	75	100
$H, м$	4	6	8	3	5	7	10	12	2	4
$P_{рас}, МПа$	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2
$\xi_{з}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 8

Определить высоту всасывания H , если диаметр трубопровода d , длина l . Подача насоса Q . Коэффициент сопротивления фильтра $\xi_{ф} = 4$, колена $\xi_{к} = 1$, шероховатость трубы $\Delta = 0,1 \text{ мм}$. Насос создает разрежение $P_{вак} = 50 \text{ кПа}$. Плотность жидкости $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$, вязкость $\nu = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, м$	50	75	100	125	150	75	100	50	75	100
$l, м$	8	10	12	14	15	10	15	12	16	18
$Q, м$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 9

Жидкость плотностью ρ сливается из бака по трубе длиной l и диаметром d . Определить расход, если разность уровней жидкости H , показания вакуумметра $P_{вак}$, коэффициенты сопротивления: на входе в трубу $\xi_{вх} = 0,5$, на выходе $\xi_{вых} = 1$, поворота $\xi_{пов} = 0,2$, задвижки $\xi_{з} = 2$, шероховатость трубы $\Delta = 0,2 \text{ мм}$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\rho, \text{ кг/м}^3$	700	750	800	850	900	900	850	800	750	700
$l, м$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
$d, мм$	75	100	75	100	75	100	125	100	125	150
$H, м$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{вак}, \text{ кПа}$	5	10	15	20	10	15	20	25	30	40

Задача 10

Из нижнего бака с давлением P_m жидкость плотностью $\rho = 860 \text{ кг/м}^3$ подается в верхний бак с разрежением $P_{\text{вак}}$. При каком значении коэффициента сопротивления вентиля ξ по трубе длиной l и диаметром d будет подаваться расход Q ? Разность уровней жидкости в баках H . Эквивалентная шероховатость трубы $\Delta=0,1 \text{ м}$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_m, \text{кПа}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$P_{\text{вак}}, \text{кПа}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$l, \text{м}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d, \text{мм}$	100	75	100	125	75	100	125	100	125	125
$Q, \text{л/с}$	10	15	20	25	30	40	35	30	35	25
$H, \text{м}$	1,5	2,5	3,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0

Задача 11

В баке поддерживается постоянный уровень при поступлении воды в левую часть с расходом Q . Из левой части бака в правую вода перетекает через круглое отверстие диаметром d_1 . Из правой части бака вода вытекает через цилиндрический насадок диаметром d_2 . Определить напоры H_1 и H_2 .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{л/с}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$d_1, \text{мм}$	75	100	100	75	125	100	150	150	200	200
$d_2, \text{мм}$	50	50	75	75	100	75	125	100	100	150

Задача 12

В стенке резервуара сделано три отверстия диаметром d , расстояние между которыми равно a . Центр тяжести отверстия находится на расстоянии h от дна резервуара. Определить, при какой глубине H суммарный расход из трех отверстий будет равен Q .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{мм}$	30	40	50	60	50	40	30	40	50	60
$a, \text{м}$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$H, \text{м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Q, \text{л/с}$	40	50	60	30	50	60	70	80	50	70

Задача 13

Определить расходы воды Q_1 и Q_2 , а также напор H_2 , если в левом отсеке резервуара поддерживается постоянный напор H_1 . Диаметр отверстия в стенке d . Из отсеков вода вытекает через цилиндрические насадки диаметром d_1 и d_2 .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H_1, \text{м}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,0
$d, \text{мм}$	30	50	40	40	40	30	40	40	50	50
$d_1, \text{мм}$	20	20	30	25	30	25	25	30	25	40
$d_2, \text{мм}$	40	25	40	50	50	40	30	40	30	30

Задача 14

Определить расход воды через два одинаковых цилиндрических насадка диаметром d . Один насадок расположен в дне резервуара, другой - в боковой стенке на расстоянии a от дна. Глубина воды в резервуаре H .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{мм}$	50	50	75	75	100	100	100	150	150	200
$a, \text{м}$	0,2	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$H, \text{м}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 15

Определить время опорожнения бака призматической формы, если вода вытекает через цилиндрический насадок диаметром d в днище бака. Длина бака a , ширина b , высота h .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$a, \text{м}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$b, \text{м}$	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0
$h, \text{м}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d, \text{мм}$	50	75	100	100	125	125	150	150	175	200

Задача 16

Определить расход воды Q в канале трапецеидальной формы. Глубина канала h , ширина по дну b , уклон дна I , коэффициент шероховатости $n = 0,03$, коэффициент бокового откоса m .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, м$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$b, м$	1,4	1,5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,5
$I \cdot 10^3$	0,4	0,8	0,5	0,3	0,2	0,6	0,7	0,9	0,5	0,4
m	1,5	2,0	1,2	1,4	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5	1,4

Задача 19

Определить глубину канала прямоугольного сечения H для пропуска расхода Q при уклоне дна канала I . Коэффициент шероховатости русла канала n . Ширина канала b .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, м^3/с$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \cdot 10^3$	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	8,0
N	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02
$b, м$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	3,0

Задача 17

Определить глубину гидравлически невыгоднейшего сечения канала трапецеидальной формы для пропуска воды, если расход равен Q , уклон дна канала I , коэффициент шероховатости n , коэффициент бокового откоса $m = 1,5$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, м^3/с$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \cdot 10^3$	0,5	0,9	0,6	0,3	0,7	0,4	0,5	0,8	0,3	0,6
n	0,03	0,02	0,04	0,012	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04

Задача 20

Определить расход воды Q в канале прямоугольного сечения. Глубина канала H , ширина b , уклон дна I , коэффициент шероховатости $n = 0,025$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, м$	1,0	1,2	1,5	1,8	1,5	2,0	2,2	2,5	2,0	2,2
$b, м$	1,2	1,5	2,0	2,1	2,5	2,5	2,5	2,0	2,5	3,0
$I \cdot 10^3$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Задача 18

Определить уклон дна канала треугольной формы для пропуска расхода воды Q . Глубина канала h , коэффициент бокового откоса m , коэффициент шероховатости $n = 0,02$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, м^3/с$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, м$	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,4	2,5	3,0
m	1,2	1,5	1,75	2,0	2,25	3,0	3,5	1,5	2,0	1,5

Задача 21

Определить удельный расход q горизонтального водоносного пласта мощностью t при равномерном движении, если разность отметок поверхности воды в скважинах, расположенных в направлении движения воды h при расстоянии между ними l . Коэффициент фильтрации k .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l, м$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h, м$	4	8	12	15	20	25	30	35	40	45
$l, м$	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0	2,5
$k, мм/с$	0,8	1,5	2,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1

Задача 22

Определить дебит артезианской скважины при условии, что мощность водяного пласта t , глубина откачки h_0 , диаметр скважины d , радиус влияния R . Коэффициент фильтрации $k = 0,001$ м/с.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t , м	3	5	10	12	14	15	20	22	25	30
h_0 , м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , м	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
R , м	40	50	60	80	100	120	150	200	250	300

Задача 23

Определить дебит совершенного грунтового колодца, если мощность водоносного пласта H , диаметр колодца d , глубина воды в колодце h , радиус влияния колодца R . Коэффициент фильтрации $k = 0,0005$ м/с.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	14	16	18	20	25	30	30	35	40	45
h , м	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R , м	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500
d , м	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5

Задача 24

Определить приток воды к водозаборной галерее, расположенной на водоупоре, если высота статического горизонта воды над водоупором H , глубина воды в галерее h , ширина b , длина l , радиус влияния R . Коэффициент фильтрации $k = 0,0001$ м/с.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	4	5	5	6	6	7	8	8	9	10
h , м	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
b , м	1,0	1,2	1,5	2,0	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	3,0
l , м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R , м	100	120	150	200	250	300	400	450	500	600

Задача 25

Определить приток воды к водозаборной галерее, расположенной на водоупоре, если высота горизонта воды над водоупором H , глубина воды в галерее h , длина галереи l . Коэффициент фильтрации k . Средний уклон кривой депрессии $Y = 0,05$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	5	6	8	9	10	11	12	14	15	16
h , м	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5	1,8
l , м	20	25	30	40	50	60	80	90	100	120
k , мм/с	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Задача 26

Определить расход воды через безнапорную круглую трубу диаметром d . Напор воды перед трубой H . Тип оголовка раструбный. Средняя ширина потока в сечении с критической глубиной b_k .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	0,75	0,75	1,0	1,0	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5	2,0
H , м	0,5	0,6	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	1,0	1,0
b_k , м	0,41	0,52	0,63	0,54	0,65	0,76	0,97	0,98	0,99	1,1

Задача 27

Рассчитать прямоугольную напорную трубу с обтекаемым оголовком для пропуска расхода Q при допустимой скорости V . Условие $i < i_{\text{д}}$ выполнено $i = 0,005$. Коэффициент сопротивления на входе $\xi_{\text{вх}} = 0,1$, коэффициент трения $\lambda = 0,02$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V , м/с	3	3,5	4	4,5	3	4	5	4	3	5

Задача 28

Определить расход воды Q через круглую трубу диаметром d , работающую в полупапорном режиме. Тип оголовка порталный, уклон дна i .

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,4	2,6
d , м	0,75	0,75	1,0	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5	2,0	2,0
i	0,00	0,00	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,010
	1	2		4	5	6	7	8	9	

Задача 29

Определить размеры напорной трубы с обтекаемым оголовком для пропуска расхода Q . Напор не должен превышать предельный H_d , допустимая скорость V_d . Условие $i > i_T$ выполняется $i = 0,003$. Коэффициент сопротивления на входе в трубу $\xi_{вх} = 0,2$, коэффициент трения в трубе $\lambda = 0,025$.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	4,1	4,2	5,3	5,4	6,5	6,6	7,7	8,88	9,9	10
H_d , м	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0
V_d , м/с	3,5	4,0	4,5	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,0	3,5

Задача 30

Определить размеры и количество напорных труб прямоугольной формы с обтекаемым оголовком для пропуска расхода Q . Напор не должен превышать предельный допустимый H_d . Условие $i > i_T$ выполняется $i = 0,004$. Коэффициент сопротивления на входе в трубу $\xi_{вх} = 0,1$, коэффициент трения в трубе $\lambda = 0,03$. Допустимая скорость $V_d = 4$ м/с.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	4,1	5,2	6,3	8,4	9,5	10,6	12,7	14,8	16,9	10,0
H_d , м	1,8	2,0	2,5	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0

Для решения задач гидростатики следует воспользоваться основным уравнением гидростатики

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (1)$$

где p – гидростатическое давление жидкости в рассматриваемой точке; p_0 – давление на свободной поверхности жидкости; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h – глубина погружения рассматриваемой точки, отсчитанная от свободной поверхности.

Сила гидростатического давления жидкости P на плоскую поверхность площадью S рассчитывается как

$$P = p_c S = (p_0 + \rho gh_c) S, \quad (2)$$

где p_c – гидростатическое давление в центре тяжести поверхности на глубине погружения h_c .

Сила давления жидкости на криволинейную поверхность складывается из горизонтальной P_x и вертикальной P_y составляющих:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}, \quad (3)$$

$$P_x = (p_0 + \rho gh_c) S_x, \quad (4)$$

$$P_y = \rho g V_{т.д.} \quad (5)$$

где S_y – площадь вертикальной проекции криволинейной поверхности. $V_{т.д.}$ – объем тела давления, заключенный между криволинейной поверхностью, свободной поверхностью жидкости и вертикальной проекцией поверхности S_y .

Пример. Определим давление воды под поршнем 2:

$$P_2 = \frac{F_1}{S_1} + \rho gh$$

Учитывая, что $S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ и $S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$, определим силу, действующую на второй поршень:

$$F_2 = P_2 S_2 = \left(\frac{4F_1}{\pi d_1^2} + \rho gh \right) \frac{\pi d_2^2}{4}$$

Далее проведем численный расчет:

$$F_2 = \left(\frac{4 \cdot 10000}{3,14 \cdot 0,1^2} + 1000 \cdot 9,81 \cdot 2 \right) \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 40600 \text{ Н} = 40,6 \text{ кН}.$$

Задачи решаются с помощью уравнения Бернулли для потока реальной (вязкой) жидкости в общем случае с учетом гидравлических потерь (потерь напора) и неравномерности распределения скоростей по сечению потока (коэффициента Кориолиса).

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h, \quad (6)$$

где z – вертикальные координаты центров тяжести сечений (геометрическая высота); p – давление; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; $p/\rho g$ – пьезометрическая высота; V – средняя по сечению скорость ($V = Q/S$); α – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей по сечениям (для ламинарного режима $\alpha = 2$, для турбулентного $\alpha \approx 1$); $\frac{\alpha V^2}{2g}$ – скоростная высота (скоростной напор); $\sum h$ – суммарные потери полного напора между сечениями 1 и 2.

Различают два вида гидравлических потерь напора: местные потери и потери на трение по длине. Местные потери напора происходят в местных гидравлических сопротивлениях – местах изменения формы и сечения русла (расширение, сужение, поворот, проход через запорную арматуру и т.д.). Местные потери напора подсчитываются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \xi V^2 / 2g, \quad (7)$$

где V – средняя скорость потока в сечении (при расширении или сужении скорость берется в более узком сечении); ξ – безразмерный коэффициент местного сопротивления.

Потери напора на трение по длине определяются по формуле Дарси:

$$h_s = \lambda \frac{\ell V^2}{d 2g}, \quad (8)$$

где λ – безразмерный коэффициент сопротивления трения, определяемый в зависимости от режима течения; ℓ и d – длина и диаметр трубы соответственно.

При ламинарном режиме λ_s определяется как

$$\lambda_s = \frac{64}{Re}, \quad (9)$$

где Re – число Рейнольдса, которое для труб диаметром d выражается формулой:

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (10)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Ламинарным считается режим движения жидкости в трубах при $Re < Re_{кр} \approx 2300$. При $Re > Re_{кр} \approx 10000$ режим течения считается турбулентным.

При турбулентном режиме коэффициент сопротивления трения λ_t помимо числа Рейнольдса зависит еще от относительной шероховатости Δ/d , т.е. $\lambda_t = f(Re, \Delta/d)$. Для гидравлически гладких труб шероховатость не влияет на сопротивление, поэтому для таких труб λ_t определяется по формуле Блазиуса:

$$\lambda_m = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (11)$$

Для труб гидравлически шероховатых в квадратичной области сопротивления коэффициент λ_t можно определить по формуле Шифринсона:

$$\lambda_m = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (12)$$

Универсальной формулой, учитывающей одновременно оба фактора, является формула Альтшуля:

$$\lambda_m = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (13)$$

Учитывая, что средняя скорость по сечению трубы $V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi d^2}$, можно подсчитать потери напора в трубопроводе как сумму потерь на трение по длине и местных потерь:

$$\sum h = h_s + \sum h_m = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi \right) \frac{8Q^2}{g \pi^2 d^5}. \quad (14)$$

При выборе двух сечений потока реальной жидкости в задачах рекомендуется брать:

- 1) свободную поверхность жидкости в резервуаре (баке), где $V = 0$;
- 2) выход в атмосферу, где $p_{изб} = 0$, $p_{абс} = p_{атм}$;
- 3) сечение, где присоединен манометр, пьезометр или вакуумметр.

Уравнение Бернулли сначала записывается в общем виде, а затем переписывается с заменой его членов заданными буквенными величинами, при этом члены, равные нулю, исключаются. Необходимо также учитывать следующее:

- 1) вертикальная ордината z отсчитывается от произвольной плоскости вверх;
- 2) давление p , входящее в обе части уравнения Бернулли, задается в одной системе отсчета (абсолютной или избыточной);

- 3) суммарные потери напора $\sum h$ всегда пишутся в правой части уравнения Бернулли со знаком «+»;
- 4) величина суммарных потерь напора $\sum h$ в общем случае складывается из местных потерь и потерь на трение по длине и определяется по формуле (14).

Пример. Из напорного бака с отметкой 16,6 м по трубопроводу длиной $l = 240$ м и диаметром $d = 100$ мм вода подается на отметку 4,2 м. Определить, при каком значении коэффициента сопротивления задвижки ξ_z по трубе подается расход $Q = 15$ л/с. Коэффициенты сопротивления: на входе в трубу $\xi_{вх} = 0,5$ и на выходе $\xi_{вых} = 1$. Шероховатость трубы $\Delta = 0,2$ мм.

Решение. Составим уравнение Бернулли для сечений 1 (напорный бак) и 2 (конец трубопровода):

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h.$$

По условию $z_1 = 16,6$ м, $z_2 = 4,2$ м, $p_1 = p_2 = p_{атм}$, $V_1 = V_2 = 0$. Таким образом, после сокращений:

$$\sum h = z_1 - z_2 = 16,6 - 4,2 = 12,4 \text{ м.}$$

Суммарные потери напора:

$$\sum h = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^5},$$

откуда

$$\xi_z = \frac{\sum hg\pi^2 d^5}{8Q^2} - \lambda \frac{l}{d} - \xi_{вх} - \xi_{вых}.$$

Определим режим движения воды в трубопроводе:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d\nu} = \frac{4 \cdot 0,015}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 191000.$$

Режим течения – турбулентный в квадратичной области сопротивления, поэтому коэффициент гидравлического сопротивления можно определить по формуле

$$\lambda = 0,11 \cdot (\Delta/d)^{0,25} = 0,11(0,2/100)^{0,25} = 0,023.$$

Подставим численные значения для определения ξ_z :

$$\xi_z = \frac{12,4 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2 \cdot 0,1^5}{8 \cdot (0,015)^2} - 0,023 \cdot \frac{240}{0,1} - 0,5 - 1 = 10.$$

4.3. Истечение жидкости через отверстия и насадки (задачи 16 – 20)

При истечении жидкости происходит преобразование потенциальной энергии жидкости в кинетическую. Скорость истечения подсчитывается из уравнения

$$V = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (15)$$

где H – расчетный напор, в общем случае подсчитывается по формуле:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g}, \quad (16)$$

φ – коэффициент скорости, определяемый как:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}},$$

где α – коэффициент Кориолиса, ξ – коэффициент местного сопротивления.

Расход жидкости через отверстия и насадки равен:

$$Q = S_1 V = \varepsilon S_0 \varphi \sqrt{2gH} = \mu S_0 \sqrt{2gH}, \quad (17)$$

где $\varepsilon = S_c / S_0$ – коэффициент сжатия струи, подсчитываемый как отношение площади сечения струи S_c к площади отверстия S_0 ; $\mu = \varepsilon \varphi$ – коэффициент расхода.

Отверстием в тонкой стенке называется отверстие, диаметр которого больше толщины стенки. В приближенных расчетах для отверстия в тонкой стенке принимают: $\varepsilon = 0,64$; $\varphi = 0,97$; $\mu = 0,62$.

Внешний цилиндрический насадок представляет собой короткую трубу, приставленную к отверстию снаружи. В приближенных расчетах для внешнего цилиндрического насадка принимают: $\mu = \varphi = 0,82$; $\varepsilon = 1$.

Сопло, или конoidalный насадок, обеспечивает плавное, безотрывное сужение потока внутри насадки и параллельно-струйное течение на выходе. Для сопла в расчетах принимают: $\mu = \varphi = 0,97$.

При переменном напоре время опорожнения или наполнения бака определяется как

$$t = \frac{2S_0(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu S \sqrt{2g}}, \quad (18)$$

где H_1, H_2 – начальный и конечный напоры в резервуаре;

S_0, S – площади поперечного сечения бака и отверстия (насадка) соответственно;

μ – коэффициент расхода отверстия (насадка).

Пример. Определить расход воды из резервуара, в котором поддерживается постоянный напор $H = 2,4$ м. Из бака вода выливается через цилиндрический насадок диаметром $d_1 = 50$ мм, расположенный в боковой стенке на высоте $0,8$ м от дна, и через цилиндрическое отверстие в дне бака диаметром $d_2 = 100$ мм.

Решение. Суммарный расход воды:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Площади насадка и отверстия:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}.$$

Учитывая, что цилиндрический насадок работает под напором $H_1 = 4,2 - 0,8 = 3,4$ м, запишем:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 = \mu_1 S_1 \sqrt{2gH_1} + \mu_2 S_2 \sqrt{2gH_2} = \\ &= 0,82 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,4} + 0,62 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,2} = \\ &= 0,0131 + 0,0442 = 0,0573 \frac{м^3}{с}. \end{aligned}$$

4.4. Движение жидкости в каналах

Этот тип задач посвящен изучению особенностей движения жидкости в открытых каналах. Основными задачами является определение расхода Q , глубины потока h или уклона дна канала I .

Расход определяется по формуле

$$Q = SC\sqrt{R_f I} \quad (19)$$

где S – площадь поперечного сечения;

C – коэффициент Шези;

R_f – гидравлический радиус.

Величины S, C, R_f зависят от глубины потока.

$$R_f = S / \chi; \quad C = R_f^y / n;$$

где χ – смоченный периметр;

n – коэффициент шероховатости канала;

y – показатель степени, зависящий от коэффициента шероховатости

при $R_f < 1$ м; $y = 1,5\sqrt{n}$;

$R_f > 1$ м; $y = 1,3\sqrt{n}$.

Понятие гидравлически наиболее выгодного трапецидального сечения:

Введем относительную ширину по дну $\beta = b / h$; где b – ширина канала по дну, h – глубина заполнения канала, m – коэффициент заложения откоса.

$$S = h^2(\beta + m); \quad \chi = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2}); \quad R_f = h(\beta + m) / (\beta + 2\sqrt{1+m^2}).$$

Наивыгоднейшее сечение получается при $\beta = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$, т.е. можно связать два геометрических параметра сечения соотношением:
 $b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m)$.

Встречаются задачи двух типов:

- необходимо определить Q или I , если известны геометрические размеры сечения канала и шероховатость русла. Решаются эти задачи прямой подстановкой величин в формулу для расхода;
- необходимо определить один из геометрических размеров сечения, если заданы расход Q и уклон дна I , шероховатость русла n .

Задачи такого типа не имеют явного решения относительно любого элемента живого сечения. Окончательное решение строится методом подбора.

Пример.

Определить расход и среднюю скорость в трапецидальном земляном канале при $b = 10$ м; $h = 3,5$ м; $m = 1,25$; $I = 0,0002$; $n = 0,025$.

Решение.

Вычислим площадь живого сечения

$$S = h^2(\beta + m); \quad \beta = b / h;$$

$$S = 3,5(10 / 3,5 + 1,25) = 50,3 \text{ м}^2;$$

Смоченный периметр

$$\chi = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2}) = 3,5(10 / 3,5 + 2\sqrt{1+1,25^2}) = 21,2 \text{ м}.$$

Гидравлический радиус

$$R_f = S / \chi = 50,3 / 21,2 = 2,37 \text{ м}.$$

Коэффициент Шези

$$C = \frac{1}{n} R_f^y = \frac{1}{0,025} \cdot 2,37^{1,5 \cdot 0,025} = 46,5 \text{ м}^{1/2} / \text{с}.$$

Расход воды в канале

$$Q = SC\sqrt{R_f I} = 50,3 \cdot 46,5 \sqrt{2,37 \cdot 0,0002} = 50,9 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Средняя скорость течения воды в канале

$$V_{cp} = \frac{Q}{S}; \quad V_{cp} = 50,9 / 50,3 = 1,01 \text{ м/с}.$$

4.5. Движение грунтовых вод.

Движение грунтовых вод (фильтрационного потока) подчиняется основному закону ламинарной фильтрации (закону Дарси):

$$Q = kSI, \quad (20)$$

где Q – фильтрационный расход; S – полная площадь поперечного сечения потока, включая площадь, занятую частицами грунта; I – гидравлический уклон; k – коэффициент фильтрации грунта.

При безнапорной фильтрации и равномерном движении грунтовых вод расход можно определить по формуле:

$$Q = kSi, \quad (21)$$

где i – уклон водоупорного подстилающего слоя.

Для прямоугольного сечения грунтового потока

$$Q = kSbi$$

или

$$q = kbi,$$

где h – глубина потока при равномерном движении;

b – ширина потока;

q – удельный расход на 1 м ширины потока.

Дебит совершенного грунтового колодца (рис.1) определяется по формуле:

$$Q = 1,36 \frac{k(H^2 - h^2)}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (22)$$

где H – мощность водоносного слоя, h – глубина воды в колодце; r – радиус колодца; k – коэффициент фильтрации грунта; R – радиус влияния колодца.

Для предварительных расчетов

$$R = 3000(H - h) \sqrt{k}. \quad (23)$$

Дебит артезианского колодца определяется по формуле:

$$Q = 2,73 \frac{kt h_0}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (24)$$

где H – напор в водоносном пласте в естественном состоянии; t – глубина (мощность) водоносного пласта; $h_0 = H - h$ – глубина откачки.

При одностороннем притоке воды к водосборной (дренажной) галерее (рис.2)

расход

$$Q = \frac{k\ell(H^2 - h^2)}{2(R - 0,5b)}, \quad (25)$$

где ℓ – длина галереи; b – ширина галереи.

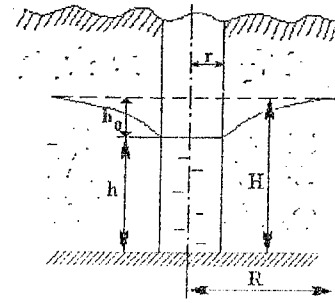


Рис.1

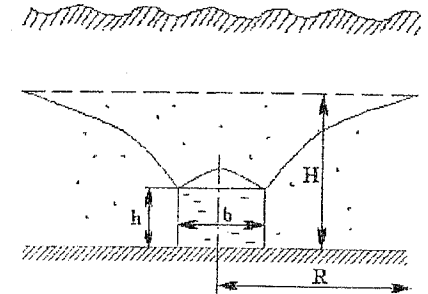


Рис.2

При малой (по сравнению с радиусом влияния) ширине галереи расход на единицу длины

$$q = \frac{k(H^2 - h^2)}{2R}. \quad (26)$$

При отсутствии данных о величине R расход на единицу длины

$$q = kI_{cp} \frac{H + h}{2}, \quad (27)$$

где I_{cp} – средний уклон кривой депрессии.

Пример. Определить дебит артезианской скважины, если известно, что мощность водоносного пласта $t = 11$ м, глубина откачки $h_0 = 5$ м, диаметр скважины $d = 0,3$ м, радиус влияния $R = 400$ м. Коэффициент фильтрации $k = 0,5$ мм/с.

Решение. Дебит артезианской скважины

$$Q = 2,73 \frac{kt h_0}{\lg \frac{R}{r}}$$

$$Q = 2,73 \frac{0,0005 \cdot 11 \cdot 5}{\ell_g \frac{400}{0,15}} = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4.6. Водопропускные дорожные трубы

Дорожные водопропускные трубы могут быть круглого и прямоугольного сечений. Согласно нормативным данным дорожные трубы имеют стандартные отверстия (прил. 2). По режиму работы трубы разделяют на безнапорные, полунапорные и напорные.

Безнапорный режим течения в трубе наблюдается при

$$H < 1,2h,$$

где H – напор воды перед трубой, h – высота (или d – диаметр) трубы.

При безнапорном течении поток имеет свободную поверхность по всей длине трубы (рис. 3).

Полунапорный режим бывает при условии $H > 1,2h$; в этом случае вход в трубу становится затопленным, за ним характерно наличие сжатого сечения с глубиной меньше критической (рис. 4).

Напорный режим бывает в трубах с обтекаемыми оголовками, а так же в случае применения специальных открьлков с необтекаемыми оголовками при

$$H > 1,4h \text{ и } i < i_T,$$

где i – уклон дна трубы; $i_T = \frac{Q}{V^2 S^2}$ – уклон трения.

При напорном режиме поперечное сечение по всей длине трубы полностью заполняется водой. В этом случае трубы обладают наибольшей пропускной способностью (рис. 5).

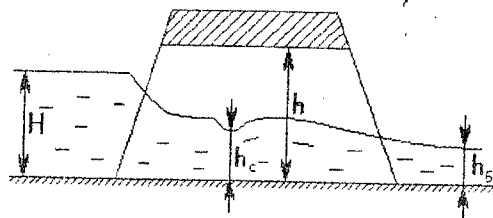


Рис. 3

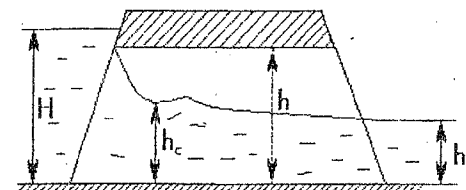


Рис. 4

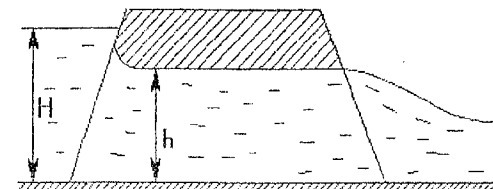


Рис. 5

Безнапорные трубы любой формы поперечного сечения рассчитываются по формуле

$$Q = mb_s \sqrt{2gH_0^{3/2}}, \quad (28)$$

где

$$m = 0,36 \text{ при } H < 0,6d$$

$$m = 0,335 \text{ при } H > 0,6d \text{ для раструбных оголовков}$$

$$m = 0,305 \text{ для воротниковых оголовков}$$

$$m = 0,31 \text{ для порталных оголовков}$$

b_k – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной

$$b_k = S_k / h_k$$

H_0 – полный напор (с учетом скоростного напора).

Отверстия безнапорных труб рассчитываются методом подбора на основании данной скорости, исходя из предельной степени, которая определяется нормами.

Полунапорная труба рассчитывается по формуле

$$Q = \mu_0 S \sqrt{2g(H_0 - \eta \cdot h_{np})} \quad (29)$$

или для круглой трубы с учетом уклона дна:

$$Q = \mu_0 S \sqrt{2g(\eta - (0,708 - 2i)d)}, \quad (30)$$

где μ_0 – коэффициент расхода для неплавных оголовков (воротниковые, порталные), $\mu_0 = 0,59 - 0,62$; для более плавных (раструбных) $\mu_0 = 0,65 - 0,67$; η – отношение некоторой «определяющей» условной глубины к диаметру трубы; для неплавных оголовков $\eta = 0,72 - 0,73$; для плавных $\eta = 0,74$.

Отверстия по этим формулам подбирают по допустимой скорости течения.

Напорные трубы рассчитываются по формуле:

$$Q = \mu S \sqrt{2g(H + i\ell - \eta d)}, \quad (31)$$

где $\eta = 0,85$; ℓ – длина трубы;

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\alpha} + \lambda \frac{\ell}{d}}}. \quad (32)$$

Отверстия следует рассчитывать в зависимости от допустимой скорости методом подбора.

Пример. Рассчитать отверстие напорной трубы с обтекаемым оголовком для пропуска расхода $Q = 5 \text{ м}^3/\text{с}$. Условие $i > i_m$ выполнено ($i = 0,002$). Коэффициент гидравлического трения в трубе $\lambda = 0,03$; допустимая скорость $V_{\text{доп}} = 4 \text{ м/с}$.

Решение. Живое сечение потока в трубе

$$S = Q / V_{\text{доп}} = 5 / 4 = 1,25 \text{ м}^2.$$

Принимаем круглую двухочковую трубу диаметром

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 2}} = 0,9 \text{ м},$$

принимаем диаметр $d = 1,0 \text{ м}$. Длину трубы принимаем $\ell = 20 \text{ м}$. Коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{\alpha} + \lambda \frac{\ell}{d}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,2 + 0,03 \frac{20}{1}}} = 0,746.$$

Напор воды перед трубой:

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2 S^2 2g} + \eta \cdot d - i\ell = \frac{2,5^2}{0,746^2 \cdot 0,625^2 \cdot 2 \cdot 9,81} + 0,85 \cdot 1 - 0,002 \cdot 20 = 2,28 \text{ м}.$$

Проверяем длину трубы

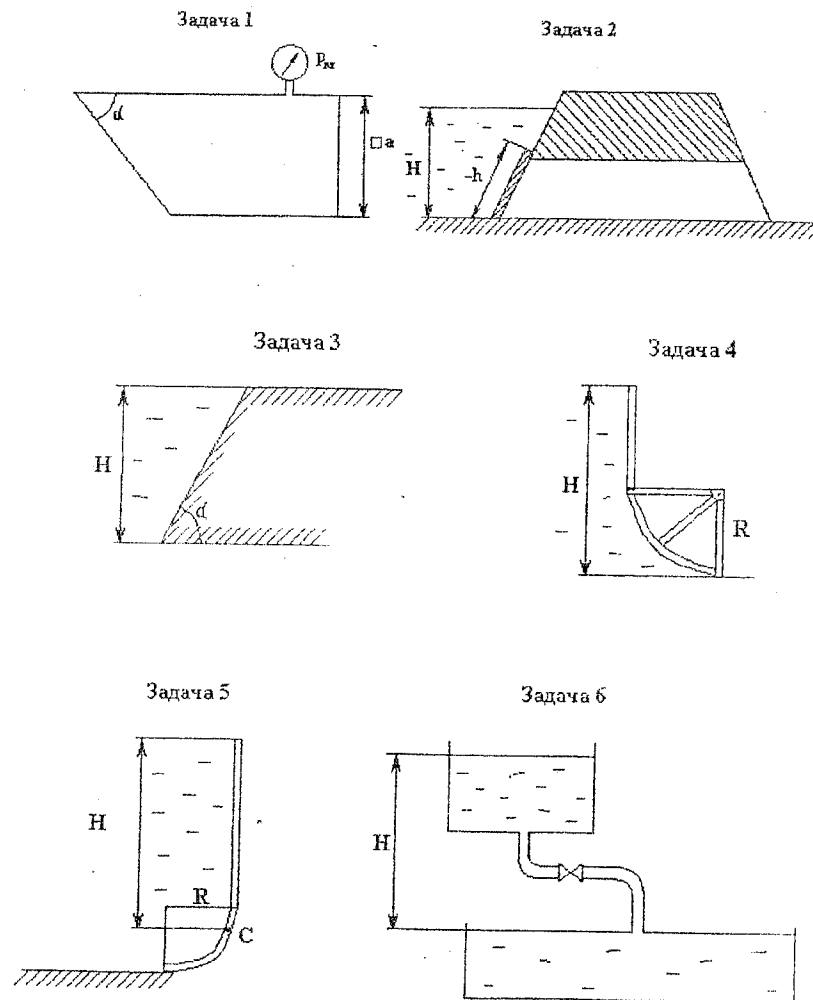
$$\ell = 2(H + 0,5)m + B.$$

При ширине земляного полотна $B = 12 \text{ м}$ и $m = 1,5$:

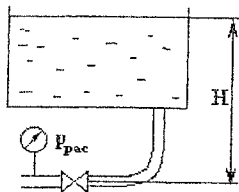
$$\ell = 2(2,28 + 0,5)1,5 + 12 = 20,3 \text{ м}.$$

Коэффициент расхода можно не пересчитывать, так как длина трубы $\ell = 20 \text{ м}$ принята правильно.

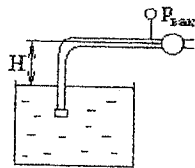
Приложение 1



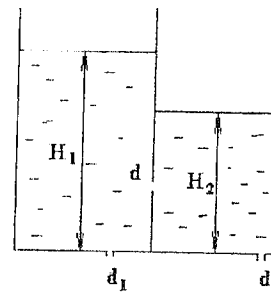
Задача 7



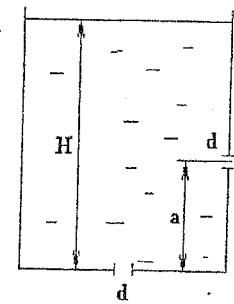
Задача 8



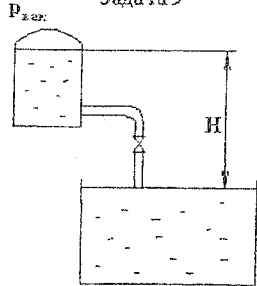
Задача 13



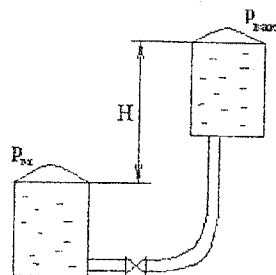
Задача 14



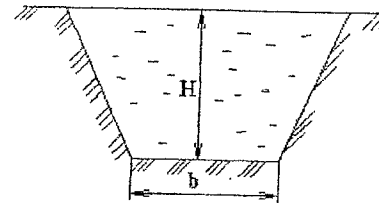
Задача 9



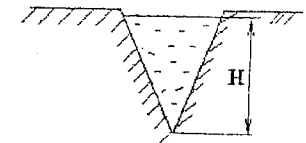
Задача 10



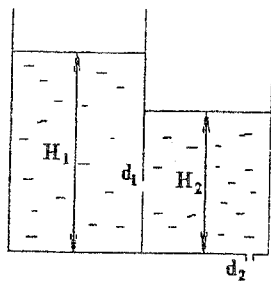
Задача 16, 17



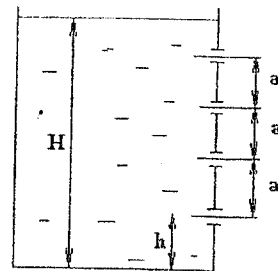
Задача 18



Задача 11



Задача 12



Задача 19, 20

