

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ВОДОСНАБЖЕНИЕ НА ЖД ТРАНСПОРТЕ»
Протокол № 2.09 от 08 сентября 2018 г.
Автор: Кузьминский Р. А., к.в.н., профессор

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

Уровень ВО: *Бакалавриат*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *3*

Специальность/Направление: *08.03.01 Строительство (СТб)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(ВВ)
Водоснабжение и водоотведение*

Москва

ВВЕДЕНИЕ

Контрольные работы нацелены на повышение эффективности и практической направленности обучения студентов. Выполнение контрольных работ содержит элементы исследования и способствует выработке навыков в принятии обоснованных технических решений.

Студенты выполняют 1 контрольную работу. Темой контрольной работы является: «Гидравлические расчеты в системах водоснабжения и водоотведения».

Контрольная работа содержит решение задач по следующим разделам:

Раздел 1 «Гидростатика»; Раздел 2 «Основы кинематики и динамики жидкости и газ»; Раздел 3 «Одномерное движение жидкости».

По разделу 1 необходимо решить 7 задач, по разделу 2 необходимо решить 2 задачи и по разделу 3 - 5 задач. Для каждой задачи дано десять вариантов исходных данных. Номер варианта выбирается по последней цифре учебного шифра.

К каждой контрольной работе даются методические указания к решению задач.

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

Контрольная работа может быть оформлена либо письменно на бумажном носителе, либо в электронно-цифровой форме на диске (CD). При представлении для рецензирования контрольной работы на электронном носителе (диске) студент обязан распечатать на бумажном носителе контрольную работу с титульным листом установленной формы и приложить к ней диск с содержанием работы. Титульный лист подписывается студентом, на нем производится регистрация работы. На титульном листе преподавателем проставляется отметка о допуске к защите и приводится рецензия контрольной работы.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие условия.

Страницы рукописи должны быть пронумерованы. Текст условия задачи следует приводить полностью. Работу следует писать от руки чернилами или печатать на одной стороне листа. Решения должны быть краткими, но исчерпывающими. Решение задач вести поэтапно, с пояснением каждого хода решения. При вычислении искомых величин необходимо написать расчетную формулу в буквенном выражении, подставить численные значения всех входящих в формулу параметров и привести окончательный ответ. В приводимых расчетных формулах поясняют все входящие в них параметры. Обозначения величин и терминология должны соответствовать принятым в учебниках. У всех размерных величин должна быть проставлена размерность. При решении задач следует строго следить за соблюдением единства размерностей величин, входящих в ту или иную расчетную зависимость. Значение всех коэффициентов следует обосновать ссылкой на литературу с указанием автора, названия источника и номера страницы. При оформлении ответов и решении задач обязательно выполнение необходимого иллюстрационного материала (графики, силовые и скоростные многоугольники, схемы потоков и т.д.). Чертежи к работе, как правило, следует выполнять на миллиметровой бумаге и клеивать или вшивать в работу. При построении расчетных графиков нужно указать величины, откладываемые по осям графика, с обозначением их размерностей. В конце работы привести список литературы, которой пользовался студент в процессе выполнения работы, с указанием автора, названия, места и года издания. Все отмеченные рецензентом ошибки должны быть исправлены, а сделанные указания выполнены. Исправлять ошибки следует отдельно по каждой задаче на чистой стороне листа.

К экзамену студент допускается только после получения зачета как по контрольным работам, так и по лабораторным работам.

Раздел 1 «Гидростатика»

Задача 1.1

Задание.

С целью своевременного обнаружения и устранения возможных неплотностей в местах соединений перед сдачей в эксплуатацию трубопровод диаметром d и длиной l подвергается испытанию опрессовкой под действием избыточного давления $p=2$ МПа, достигаемого нагнетанием в трубопровод дополнительного объема жидкости.

Требуется определить, какой объем жидкости дополнительно нужно подать в трубопровод для достижения необходимого давления при испытании. Деформацией трубопровода пренебречь. Коэффициент объемного сжатия принять равным $\beta_w=0,0005$ 1/МПа.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l , м	100	150	200	250	300	350	300	250	200	150
d , мм	100	150	200	250	300	350	400	450	500	100

Методические указания к решению задачи 1.1.

Для определения ΔW следует использовать формулу

$$\beta_w = \frac{\Delta W}{W \Delta p},$$

где β_w - коэффициент объемного сжатия жидкости;

ΔW - изменение объема жидкости;

W - первоначальный объем жидкости;

Δp - изменение давления.

Задача 1.2

Задание.

Для приема дополнительного объема воды, получающегося в процессе ее расширения при нагревании, к системе водяного отопления в верхней ее точке присоединяют расширительные резервуары, сообщающиеся с атмосферой.

Определить необходимый объем расширительного резервуара при нагревании воды от 10 до 90°C.

Коэффициент температурного расширения воды принять равным $\beta_t=0,00045$ 1/°C. Объем воды в системе W .

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

Методические указания к решению задачи 1.2.

Для определения необходимого объема расширительного резервуара следует использовать формулу коэффициента температурного расширения

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \Delta t},$$

где ΔW - изменение объема жидкости;

W - первоначальный объем жидкости;

Δt - изменение температуры.

Задача 1.3

Задание.

Участок трубопровода заполнен водой при атмосферном давлении.

Определить повышение давления в трубопроводе при нагреве воды на $\Delta t^\circ\text{C}$ и закрытых задвижках на концах участка.

Коэффициенты температурного расширения и объемного сжатия принять равными: $\beta_t=0,000014 \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $\beta_w=0,0005 \text{ 1/МПа}$.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta t^\circ\text{C}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Методические указания к решению задачи 1.3.

Искомая величина повышения давления в трубопроводе Δp при изменении температуры на заданную величину $\Delta t^\circ\text{C}$ находится из формул коэффициентов объемного сжатия β_w и температурного расширения β_t .

Задача 1.4

Задание.

Перепад уровней ртути в левом и правом коленях ртутного манометра равен h_p (рис. 1.1). Возвышение уровня воды над поверхностью ртути в левом колене манометра равно H .

Определить величину абсолютного давления p_0 и высоту вакуума h для точки, взятой на поверхности воды в сосуде.

Плотность ртути принять равной $\rho_p=13600 \text{ кг/м}^3$.

Атмосферное давление принять равным $p_{\text{ат}}=98 \text{ кПа}$.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h_p, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
$H, \text{ м}$	2,5	2,0	1,5	1,0	1,6	0,5	1,0	1,5	2,0	1,8

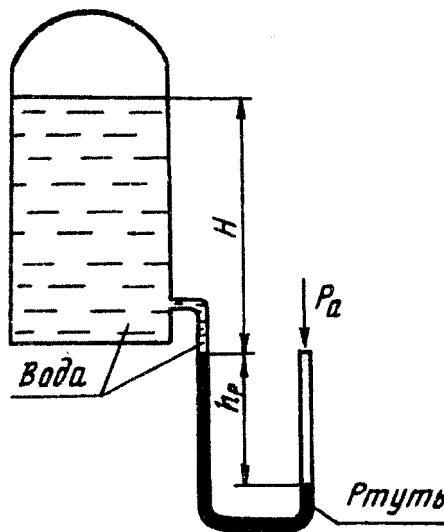


Рис. 1.1

Методические указания к решению задачи 1.4.

Следует составить уравнение равновесия давлений относительно плоскости, проходящей через уровень ртути в правом колене ртутного манометра и из него найти искомые величины p_0 , и $h_{\text{вак}}$.

Задача 1.5

Задание.

Резервуар водопроводной башни оборудован ограничителем уровня воды, представляющим собой клапан 1, соединенный тягой с поплавком 2 (рис. 1.2).

При повышении уровня воды выше предельного значения погружение поплавка достигает такой величины, при которой выталкивающая сила воды превышает действующую на клапан силу давления. Клапан открывается и через него сбрасывается часть воды. При снижении уровня воды клапан закрывается.

Определить расстояние от дна резервуара до низа поплавка $h_{\text{п}}$, при котором будет обеспечена глубина воды в резервуаре H . Диаметр поплавка D , масса его с клапаном и тягой G . Диаметр клапана $d_{\text{к}}$.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	4,8	4,2	3,8	3,2	2,5
D , м	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
$D_{\text{к}}$, м	0,15	0,15	0,10	0,10	0,20	0,25	0,15	0,10	0,20	0,05
G , н	130	120	110	105	100	125	115	110	105	90

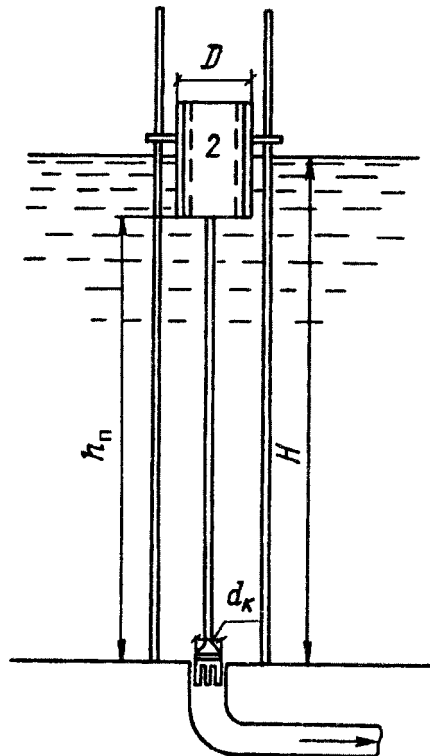


Рис. 1.2

Методические указания к решению задачи 1.5.

Искомая величина $h_{\text{п}}$ определяется из условия равновесия сил

$$P+G=P_{\text{выт}},$$

где P - сила давления воды на клапан; $P_{\text{выт}}$ - выталкивающая (архимедова) сила, действующая на поплавок.

Если $P_{\text{выт}} > P+G$, клапан откроется и резервуар начнет опорожняться.

Задача 1.6

Задание.

Прямоугольный поворотный щит (рис. 1.3) шириной $B=4$ м и высотой H закрывает выпускное отверстие плотины. Справа от щита уровень воды H_1 слева H_2 , плотность воды $\rho=1000$ кг/м³.

1. Определить начальную силу T натяжения троса, не обходимую для открытия щита, если пренебречь трением в цапфах.
2. С какой силой P щит прижимается к порогу A в закрытом положении, если принять, что по боковым сторонам щита опоры отсутствуют?
3. Построить результирующую эпюру гидростатического давления на щит, предварительно построив эпюры давления на щит слева и справа.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	4,5	3,5	3,0	4,7	4,0	3,0	2,5	3,5	3,0	4,0
H_1 , м	6,0	5,0	4,0	5,8	5,2	3,8	4,2	4,8	4,5	5,5
H_2 , м	3,2	2,5	2,0	3,0	2,8	1,8	1,5	2,0	2,2	1,5

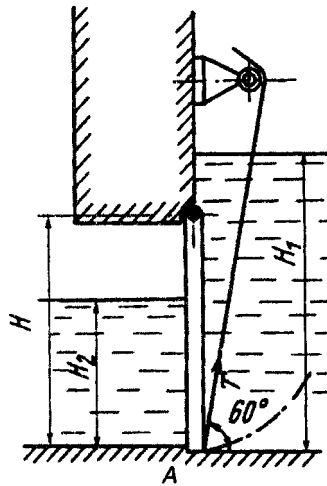


Рис. 1.3

Методические указания к решению задачи 1.6.

Нужно составить уравнение моментов сил, действующих на щит, относительно оси поворота щита и из него найти силу натяжения троса T

$$Tl=P_1l_1-P_2l_2,$$

где P_1 и P_2 - силы давления, действующие на щит справа и слева; l_1 и l_2 - плечи сил P_1 и P_2 относительно оси поворота щита; l - плечо силы натяжения троса.

Для определения величин l_1 и l_2 необходимо найти точки приложения (центры давления) сил P_1 и P_2 .

Плечо силы T , как катет, лежащий против угла 30° , составляет половину высоты отверстия плотины ($l=H/2$). Величину силы P_A определяют из уравнения моментов сил относительно той же оси поворота щита

$$P_A H = P_1 l_1 - P_2 l_2.$$

Задача 1.7

Задание.

Резервуар, форма и размеры которого даны на рис. 1.4, опирающийся на 4 опоры, имеет смотровой люк, перекрывающийся полусферической крышкой ABC диаметром d .

Определить при заданном уровне воды в резервуаре H силу давления на дно резервуара F и на каждую из четырех опор N (при определении N весом жидкости в объеме полусферической крышки пренебречь).

Найти горизонтальную P_x и вертикальную P_z составляющие силы давления жидкости на полусферическую крышку ABC , а также величину и линию действия равнодействующей силы избыточного гидростатического давления P , действующего на крышку.

Как изменятся силы F , N , P_x , P_z и P , если диаметр верхней цилиндрической части резервуара уменьшить вдвое?

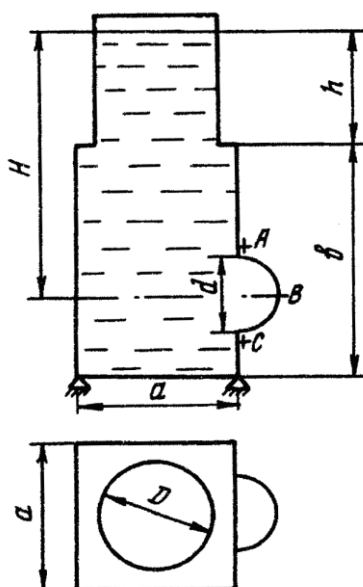


рис. 1.4

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	5,0	2,0	3,0	2,5	4,0	3,5	1,5	4,5	2,0	2,5
h , м	2,5	1,0	2,0	1,5	3,0	1,5	1,0	2,0	1,0	0,5
d , м	0,5	1,0	1,2	0,8	0,6	1,5	0,5	1,5	0,4	0,5
a , м	2,0	5,0	3,0	2,5	1,5	2,0	3,5	4,0	4,5	3,0
b , м	3,5	2,5	2,8	2,2	2,7	3,6	1,9	3,8	2,9	4,0
D , м	1,0	2,0	1,5	2,0	1,0	0,5	2,5	3,0	4,0	2,0

Методические указания к решению задачи 1.7.

Следует помнить, что сила давления на дно резервуара определяется глубиной воды в резервуаре и площадью дна, а сила давления на опоры - весом воды в резервуаре.

При определении вертикальной составляющей силы P_z , действующей на полусферическую крышку ABC , нужно отдельно установить объемы тел давления для верхней AB и нижней BC половин крышки. Сечения этих тел давления следует показать на чертеже.

Тело давления для верхней половины крышки AB будет отрицательным, для

нижней BC - положительным. Результирующее тело давление, определяющее величину вертикальной составляющей силы P_z , будет равно алгебраической сумме двух рассмотренных тел давления.

Величина и линия действия равнодействующей силы может быть определена графически. Для этого следует построить треугольник сил, откладывая силы P_x и P_z в одном, произвольно выбранном масштабе. При нахождении точки приложения (линии действия) равнодействующей силы P следует помнить, что в какой бы точке ни была приложена равно-действующая, она будет всегда направлена по нормали к криволинейной поверхности ABC в точке ее приложения. Поэтому линия действия равнодействующей силы P будет направлена по радиусу полуокружности ABC , проведенному параллельно вектору P треугольника сил (рис. 1.5).

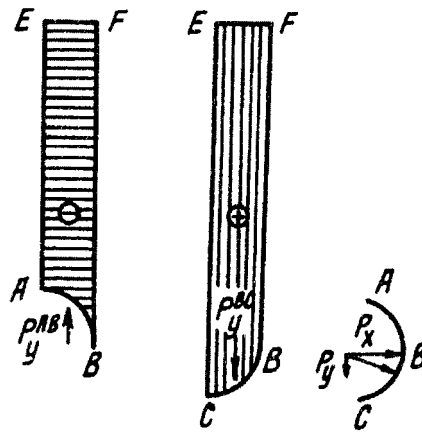


Рис. 1.5

Величину силы P и ее линию действия можно определить и аналитически по формулам:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{P_x}{P_z}.$$

где φ - угол наклона силы P к горизонту.

Раздел 2 «Основы кинематики и динамики жидкости и газа»

Задача 2.1

Задание.

Определить критическую скорость, отвечающую переходу от ламинарного режима к турбулентному в трубе диаметром d , при движении воды, нефти и воздуха при температуре 15°C .

Кинематический коэффициент вязкости при указанной температуре воды, нефти и воздуха соответственно равен:

$$\nu_{\text{в}} = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\nu_{\text{н}} = 940 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\nu_{\text{возд}} = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	200	15	20	25	32	50	75	100	125	150

Методические указания к решению задачи 2.1.

Искомая критическая скорость находится из формулы числа Рейнольдса при его критическом значении.

Задача 2.2

Задание.

На рис. 2.1 представлен водомер Вентури (участок трубы с плавным сужением потока), предназначенный для измерения расхода протекающей по трубопроводу жидкости.

Определить расход Q , если разность уровней в трубках дифференциального ртутного манометра h , диаметр трубы d_1 диаметр горловины (сужения) d_2 . Потерями напора в водомере пренебречь.

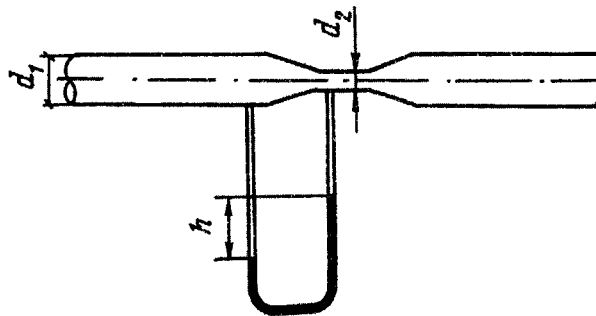


Рис. 2.1

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D_1 , мм	150	100	125	200	250	50	75	100	150	200
D_2 , мм	50	25	32	75	50	15	20	32	75	50
h , см	10	15	12	8	20	10	12	16	9	18

Методические указания к решению задачи 2.2.

Следует написать уравнение Бернулли для широкого и узкого сечений водомера Вентури относительно горизонтальной плоскости сравнения, проходящей по оси трубопровода. Выразив в этом уравнении скорости в трубе V_1 через скорость в горловине V_2 и приняв $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, получить из него формулу для разности пьезометрических высот в сечении 1 и 2

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma}.$$

Затем, составив уравнение равновесия давлений относительно горизонтальной плоскости, проходящей через уровень ртути в левом колене дифманометра, выразить разность пьезометрических высот $\frac{p_1 - p_2}{\gamma}$ через показания ртутного манометра h , учитывая, что отношение удельных весов ртути и воды $\gamma_p / \gamma_v = 13,6$, и из этого выражения получить формулу для определения искомого расхода.

Раздел 3 «Одномерное движение жидкости»

Задача 3.1

Задание.

Определить давление p_1 в узком сечении трубопровода (рис. 2.2, сечение 1-1) при следующих условиях: давление в широкой его части равно p_2 , расход воды, протекающей по трубопроводу Q , диаметры труб узкого и широкого сечений соответственно d_1 и d_2 .

Режим движения в трубопроводе - турбулентный.

Трубопровод горизонтален.

Удельный вес воды принять равным $\gamma=10 \text{ кН/м}^3$.

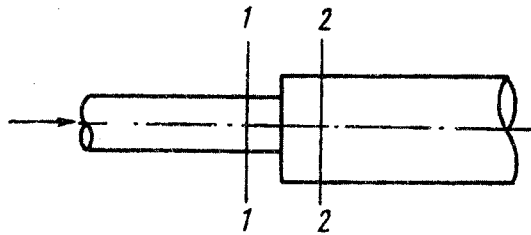


Рис. 2.2

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_2 , кПа	50	60	80	20	30	45	40	70	80	100
Q , л/с	10	6	15	12	8	5	2	10	7	20
d_1 , мм	50	32	100	50	32	25	15	75	50	100
d_2 , мм	150	75	200	125	100	50	32	125	100	250

Методические указания к решению задачи 3.1.

Задача решается на основе уравнения Бернулли, составленного для сечения 1-1 и 2-2 (рис. 2.2).

Потерю напора на внезапное расширение считать равной

$$h_{1-2} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g},$$

где V_1 и V_2 - средние скорости движения потока в сечениях 1-1 и 2-2, которые следует предварительно определить.

Задача 3.2

Задание.

Определить потери давления на длине l при движении по трубе диаметром d воды и воздуха с расходом Q при температуре 10°C .

Эквивалентная шероховатость трубы $k_s = 0,1 \text{ мм}$.

Как изменятся эти потери с увеличением температуры до 80°C ?

Плотность и вязкость воды и воздуха при указанных температурах соответственно равны:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{в}10} &= 1000 \text{ кг/м}^3; & \nu_{\text{в}10} &= 0,0131 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \rho_{\text{возд}10} &= 1,23 \text{ кг/м}^3; & \nu_{\text{возд}10} &= 0,147 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \rho_{\text{в}80} &= 972 \text{ кг/м}^3; & \nu_{\text{в}80} &= 0,0037 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \rho_{\text{возд}80} &= 0,99 \text{ кг/м}^3; & \nu_{\text{возд}80} &= 0,217 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}. \end{aligned}$$

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , м	300	10	15	20	25	50	100	150	200	250
d , мм	200	15	20	25	32	50	75	100	125	150
Q , л/с	100	0,5	0,8	1,0	2,0	4,0	15	25	40	50

Методические указания к решению задачи 3.2.

Потери давления на трение по длине трубопровода следует определить по формуле Дарси

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{V^2}{2},$$

где V - средняя скорость движения потока;

λ - коэффициент гидравлического трения, учитывающий влияние вязкости жидкости и шероховатость стенок трубы на потерю напора по длине и определяемый по различным формулам в зависимости от зоны (области) сопротивления, в которой работает трубопровод.

При ламинарном течении

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}},$$

где $\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}$ число Рейнольдса.

При значении критерия зоны турбулентности $\frac{Vk_{\text{э}}}{\nu} \leq 10$ величину λ следует определять по формуле Блазиуса

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

При $10 < \frac{Vk_{\text{э}}}{\nu} \leq 500$ величину λ следует определять по формуле Альтшуля

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

При $\frac{Vk_{\text{э}}}{\nu} > 500$ величину λ следует определять по формуле Шифринсона

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

Задача 3.3

Задание.

Определить потери давления на единицу длины в воздуховодах: круглого - диаметром d и квадратного - со стороной a поперечного сечения при одинаковой длине периметра и заданном расходе воздуха Q . Эквивалентная шероховатость стенок воздуховодов $k_{\text{э}}=0,2$ мм. Дать заключение, какой воздуховод более выгоден.

Плотность воздуха $\rho=1,2$ кг/м³; кинематический коэффициент вязкости $\nu=0,157 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	150	150	175	200	250	300	350	300	250	200
Q , л/с	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,4	1,3	0,7

Методические указания к решению задачи 3.3.

Вначале необходимо определить величину стороны квадратного сечения a из условия равенства периметров круглого и квадратного сечений, затем вычислить площади поперечных сечений и найти скорости движения воздушных потоков по одному и другому воздуховодам, после чего по формуле Дарси определить потери давления на единицу длины.

При определении потери давления в воздуховоде квадратного сечения в формулах для определения Re , λ и Δp диаметр следует выразить через гидравлический радиус R ($d=4R$), который определяется по формуле

$$R = \omega / \chi,$$

где ω - площадь поперечного сечения; χ - длина периметра сечения.

Задача 3.4

Задание.

Из открытого резервуара, в котором поддерживается постоянный уровень, по стальному горизонтальному трубопроводу (эквивалентная шероховатость $k_s=0,1$ мм), состоящему из труб различного диаметра d и различной длины l , вытекает в атмосферу вода, расход которой Q , температура $t^\circ\text{C}$ (рис. 2.3).

Требуется:

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

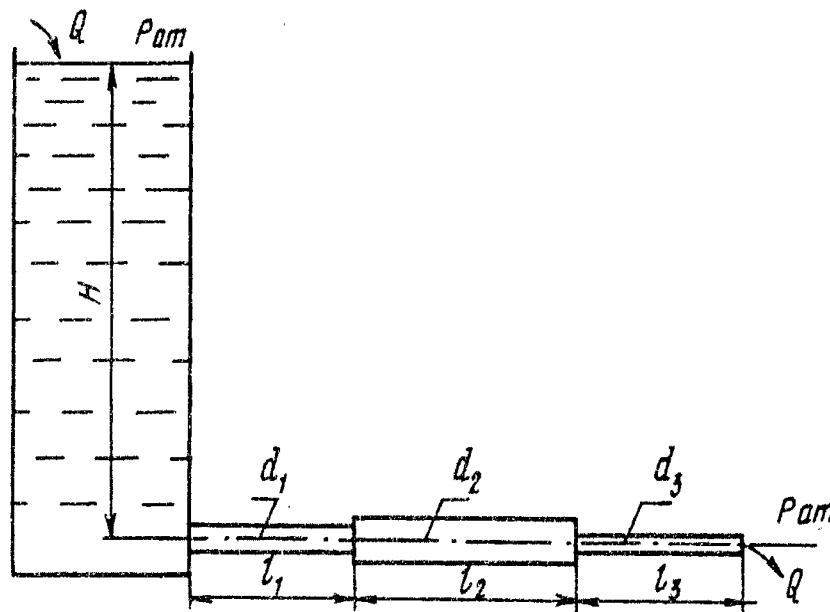


Рис. 2.3

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , л/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	4,5	5,0
d_1 , мм	20	32	75	32	25	75	100	50	100	50
d_2 , мм	15	50	50	50	50	100	75	100	50	75
d_3 , мм	20	32	25	25	75	50	50	50	100	100
l_1 , м	1,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,5	5,0	4,0	5,0	2,0
l_2 , м	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	2,5	4,0	5,0	4,0
l_3 , м	1,0	2,0	2,5	3,0	5,0	2,5	5,0	4,0	6,0	6,0
t , °С	10	20	30	40	50	60	40	30	20	10

Методические указания к решению задачи 3.4.

Решение задачи выполняют в следующем порядке:

1. Составляют уравнение Бернулли в общем виде для сечений 0-0 и 3-3. Сечение 0-0 совпадает со свободной поверхностью жидкости в резервуаре, сечение 3-3 - выходное сечение. При написании уравнения Бернулли следует помнить, что индексы у всех членов уравнения должны быть одинаковыми с названиями сечений, к которым они относятся. Например, величины, относящиеся к сечению 0-0, следует обозначить Z_0 , p_0 , α_0 , V_0 .

2. Намечают горизонтальную плоскость сравнения. При горизонтальном трубопроводе в качестве таковой берут плоскость, проходящую по оси трубопровода. После этого устанавливают, чему равно каждое слагаемое, входящее в уравнение Бернулли, применительно к условиям решаемой задачи. Например, $Z_0=H$ (искомая величина напора в резервуаре); $p_0=p_a$ (атмосферное давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре); $V_0=0$ (скорость движения воды в резервуаре) и т.д.

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

3. Определяют скорости движения воды на каждом участке.

4. По скоростям движения воды на каждом участке вычисляют числа Рейнольдса и критерии зоны турбулентности. Значение кинематического коэффициента вязкости следует взять из Приложения 1.

По критериям зоны турбулентности устанавливают соответствующие им зоны сопротивления и вычисляют значения коэффициентов гидравлического трения λ на каждом участке (см. задачу 2.4).

6. Определяют потери напора по длине каждого участка (h_{l1} , h_{l2} , h_{l3}) и в каждом местном сопротивлении (вход в трубу из резервуара $h_{вх}$, внезапное расширение $h_{вр}$, внезапное сужение $h_{вс}$).

Потери напора по длине следует определить по формуле Дарси

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

где l - длина расчетного участка;

λ - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

d - диаметр трубопровода;

V - средняя скорость движения потока на рассматриваемом участке.

Потери напора в местных сопротивлениях вычисляют по формуле Вейсбаха

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

где V - средняя скорость за данным сопротивлением;

ζ - безразмерный коэффициент местного сопротивления.

При вычислении потери напора на вход в трубу коэффициент местного сопротивления $\zeta_{вх}=0,5$. Значение коэффициента местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода $\zeta_{вс}$ взять в зависимости от степени сужения n (отношения площади трубы в узком сечении к площади трубы в широком сечении) из Приложения 2.

Потери напора при внезапном расширении трубопровода можно определить по формуле Борда

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

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

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

8. Строят напорную линию (рис. 2.4). Напорная линия показывает, как изменяется

полный напор $H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g}$ (полная удельная энергия) по длине потока. Значения H откладывают от осевой линии трубопровода.

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

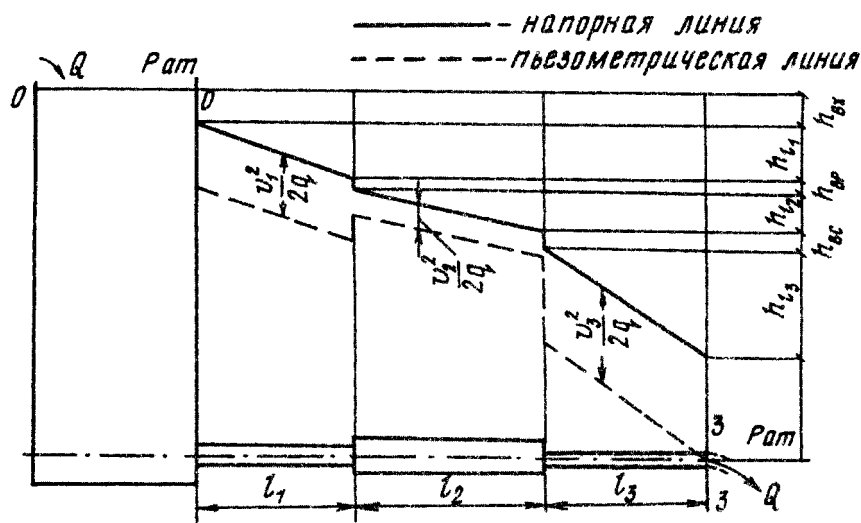


Рис. 2.4

На участке l_1 имеет место потеря напора по длине трубопровода h_{1l} . Для получения точки, принадлежащей напорной линии в конце участка l_1 , нужно от линии полного напора после входа жидкости в трубку отложить по вертикали в конце участка l_1 , вниз в масштабе отрезок, соответствующий потери напора на участке l_1 . Затем от точки полного

напора в конце участка l_1 откладывается в масштабе отрезок, соответствующий потере напора в местном сопротивлении (внезапное расширение или сужение) и так до конца трубопровода. Соединяя точки полного напора, получим напорную линию.

Пьезометрическая линия показывает, как изменяется пьезометрический напор $Z+p/\gamma$ (удельная потенциальная энергия) по длине потока. Удельная потенциальная энергия меньше полной удельной энергии на величину удельной кинетической энергии $aV^2/(2g)$. Поэтому, чтобы построить пьезометрическую линию, нужно вычислить на каждом участке величину $aV^2/(2g)$ и отложить ее числовое значение в масштабе вниз от напорной линии. Откладывая соответствующие значения $aV^2/(2g)$ в начале и в конце каждого участка и соединяя полученные точки, строим пьезометрическую линию.

График напорной и пьезометрической линии будет построен правильно в том случае, если при их построении были выдержаны принятые вертикальные и горизонтальные масштабы, а также верно вычислены все потери напора и все скоростные напоры $aV^2/(2g)$.

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

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

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

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

4. В пределах каждого участка пьезометрическая линия должна быть параллельна напорной, поскольку в пределах каждого участка величина $aV^2/(2g)$ постоянна.

5. На участке, где скорость больше, расстояние между напорной и пьезометрической линиями больше.

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

После построения напорной и пьезометрической линий на графике показывают все потери напора и все скоростные напоры с указанием их численных значений. Примерный вид графика приведен на рис. 2.4. График следует строить на миллиметровке.

Задача 3.5

Задание.

Бак разделен на два отсека тонкой перегородкой. Из отсека 1 вода через отверстие в перегородке диаметром d_1 , расположенном на высоте h_1 от дна, поступает в отсек 2, а из отсека 2 через внешний цилиндрический насадок диаметром d_2 выливается наружу. Высота расположения насадка над дном - h_2 . Уровень воды над центром отверстия в отсеке 1 равен H , (рис. 2.5, а, б). Движение установившееся.

Требуется определить:

1. Расход Q .

2. Перепад уровней воды в отсеках h .

Исходные данные	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_1 , см	2	3	2,5	3,5	1,5	4	4,5	5	3	2
d_2 , см	1,5	3	2	4	1,5	5	3,5	4	4,5	2
H_1 , м	1	3	2,5	4	2	3,5	1,5	3,5	3	2
h_1 , м	1	2	1,5	3	2,5	3	1	3	2,5	1,5
h_2 , м	1	1,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	1	1,5

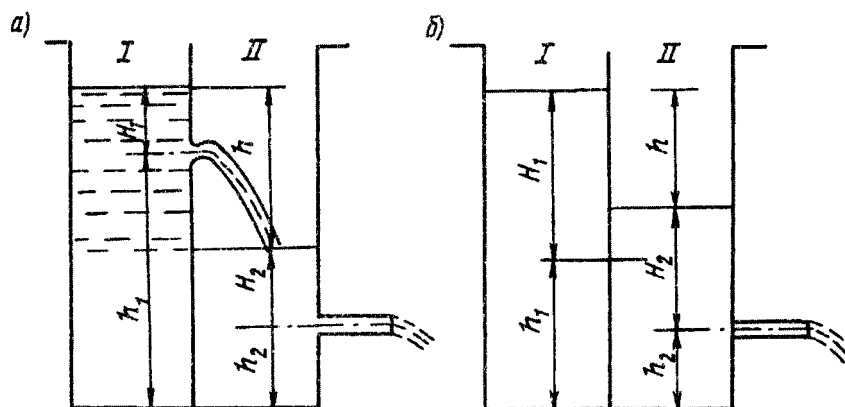


Рис. 2.5

Методические указания к решению задачи 3.5.

Расход жидкости при истечении из отверстий и насадок определяют по формуле

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

где μ - коэффициент расхода (при истечении из отверстия можно принять $\mu_0=0,62$, из насадки - $\mu_n=0,82$);

ω - площадь отверстия;

H - действующий напор над центром отверстия;

В данной задаче возможны два условия протекания воды из отсека I в отсек 2 (см. рис. 2.5, а, б): при свободном истечении, когда $(h_2+H_2) < h_1$ и при истечении под уровень (затопленное отверстие), когда $(h_2+H_2) > h_1$.

При свободном истечении действующий напор над центром отверстия равен H_1 . При затопленном отверстии истечение будет происходить под действием напора $h=(h_1+H_1)-(h_2+H_2)$. Величину коэффициента расхода следует брать как и при свободном истечении.

Решение задачи начинаем с предположения о незатопленности отверстия.

$$\text{Находим } Q = \mu_0 \omega_0 \sqrt{2gH}.$$

Учитывая равенство расходов из отверстия и насадки, определяем

$$H_2 = \frac{Q_2}{\mu_n^2 \omega_n^2 2g}.$$

Если $(h_2+H_2) \leq h_1$, то расход определен правильно, в противном случае выполняем перерасчет, считая истечение из отверстия затопленным. В этом случае

$$Q = \mu_o \omega_o \sqrt{2gh} = \mu_o \omega_o \sqrt{2g(h_1 + H_1 - h_2 - H_2)} = \mu_n \omega_n \sqrt{2gH_2}.$$

Из этого равенства находим H_2 .

Проверяем условие затопляемости $(h_2 + H_2) > h_1$ и определяем искомый расход $Q = \mu_n \omega_n \sqrt{2gH_2}$, после чего находим искомое значение $h = (h_1 + H_1) - h_2 + H_2$ и выполняем проверку $Q = \mu_o \omega_o \sqrt{2gh}$.

Приложение 1

Значения кинематического коэффициента вязкости воды при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\nu, \text{cm}^2/\text{c}$	0,0178	0,0131	0,0101	0,009	0,0066	0,0058	0,0048	0,0040	0,0036	0,0030

Приложение 2

Значения коэффициента $\zeta_{вс}$

$n=\omega_2/\omega_1$	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\zeta_{вс}$	0,41	0,4	0,38	0,36	0,4	0,3	0,27	0,2	0,16	0,1	0