Негосударственное частное образовательное учреждение высшего образования
«Технический университет УГМК»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГИДРОМЕХАНИКА

Специальность	**21.05.04 Горное дело**
Специализация	**Подземная разработка рудных месторождений**
Уровень высшего образования	Специалитет *(бакалавриат, специалитет, магистратура)*
Квалификация выпускника	горный инженер (специалист)

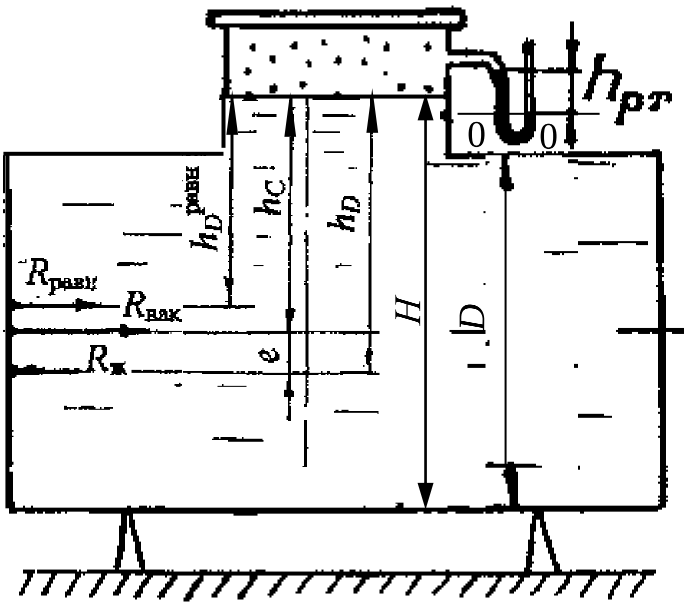
Автор - разработчик: Зубов В.В., канд. техн. наук, доцент
Рассмотрено на заседании кафедры механики и автоматизации технологических процессов и производств
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма
2021

Практическая работа №1.

Тип: Расчетно-графическая работа.

Задача. Определить силу давления на торцевую плоскую вертикальную стенку цистерны с бензином и положение центра давления, если показание U-образной трубки, заполненной ртутью, равно $h_{рт}$, глубина заполнения цистерны - H, диаметр цистерны - D, плотность бензина $\rho_{бен} = 720$ кг/м^3.



Параметры	Вариант
	а
H, м	2,6
D, м	2,2
$h_{рт}$, мм	200

Решение

Для определения равнодействующей давления $R_{равн}$ аналитическим методом воспользуемся формулой

$$R_{равн} = p_C\,A,$$

где p_C – давление на уровне центра тяжести стенки, по основному уравнению гидростатики

$$p_C = p_0 + \rho g h_C;$$

A - площадь стенки;

$$A = \pi D^2/4.$$

Подставив значение давления, получим

$$R_{равн} = p_0\,A + \rho g h_C\,A,$$

где $p_0\,A = R_0$ - сила от давления p_0 на поверхности жидкости;

$\rho g h_C\,A = R_ж$ - сила давления бензина на стенку;

1. Определим давление на поверхности жидкости. Для этого проведем плоскость уровня 0-0 по линии раздела воздуха и ртути в правом колене U-образной трубки.

Из условия равенства абсолютного давления относительно плоскости уровня 0-0 запишем:

$$p_{0абс} + \rho_{рт} g h_{рт} = p_а \quad \text{или} \quad p_а - p_{0абс} = \rho_{рт} g h_{рт};$$

$$p_а - p_{0абс} = p_{вак},$$

значит, $$p_{вак} = \rho_{рт} g h_{рт}\,.$$

2. На поверхности воды действует вакуумметрическое давление. Это значит, что

$$R_0 = R_{вак} = p_{вак}\,A = \rho_{рт} g h_{рт}\,\pi D^2/4;$$

$$R_{вак} = 13600\cdot 9{,}8\cdot 0{,}2\cdot 3{,}14\cdot 2{,}2^2/4 = 101277 \text{ Н} = 101{,}3 \text{ кН}$$

Приложена сила вакуумметрического давления на поверхности жидкости в центре тяжести стенки и направлена по нормали внутрь жидкости.

3. Рассчитаем силу давления бензина на круглую крышку по формуле

$$R_ж = \rho_{бен}\, g h_C A = \rho_{бен}\, g h_C \pi D^2/4,$$

где h_C- глубина погружения центра тяжести стенки, отсчитанная от свободной поверхности:

$$h_C = H - D\ 12 = 2{,}6 - 2{,}2/2 = 1{,}5 \text{ м.}$$

$$R_ж == 720 \cdot 9{,}8 \cdot 1{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}2^2/4 = 40213 \text{ Н} = 40{,}2 \text{ кН.}$$

Сила давления жидкости $R_ж$ приложена в **центре давления** на глубине h_D и направлена по нормали к стенке. Глубина погружения центра давления определяется по формуле

$$h_D = h_C + I_C \sin^2 \alpha/(\ h_C A),$$

где α – угол наклона стенки к горизонту;α = 90º; sin 90º = 1,0 для вертикальной стенки;
I_C - центральный момент инерции круглой стенки относительно горизонтальной оси:

$$I_C = \pi D^4/64$$

После подстановки данных получим:

$$h_D = h_C + \frac{\pi D^4 \cdot 4}{64 h_C \pi D^2} = h_C + \frac{D^2}{16 h_C}; \qquad h_D = 1{,}5 + 0{,}201 = 1{,}701\text{м.}$$

Эксцентриситет e – расстояние между центром тяжести и центром давления – составляет e = 0,201 м.

4. Определим величину и положение равнодействующей $R_{равн}$ векторным сложением сил R_0 и $R_ж$:

$$\vec{R}_{равн} = \vec{R}_0 + \vec{R}_ж; \qquad R_{равн} = R_0 - R_ж = 101{,}3 - 40{,}2 = 61{,}1 \text{ кН.}$$

Положение равнодействующей можно определить, пользуясь теоремой Вариньона: момент равнодействующей равен сумме моментов сил ее составляющих.

Составим сумму моментов сил относительно оси, проходящей по свободной поверхности бензина. Пусть $h_D^{равн}$ глубина погружения центра давления равнодействующей, тогда

$$M_{Rравн} = M_{Ro} + M_{Rж}; \qquad R_{равн} \cdot h_D^{равн} = R_0 \cdot h_C - R_ж \cdot h_D$$

$$h_D^{равн} = (R_0 \cdot h_C - R_ж \cdot h_D)/ R_{равн}; \qquad h_D^{равн} = (101{,}3 \cdot 1{,}5 - 40{,}2 \cdot 1{,}701)/ 61{,}1 = 1{,}36 \text{ м.}$$

Ответ: $R_{равн}$= 61,1 кН; $h_D^{равн}$= 1,36 м.

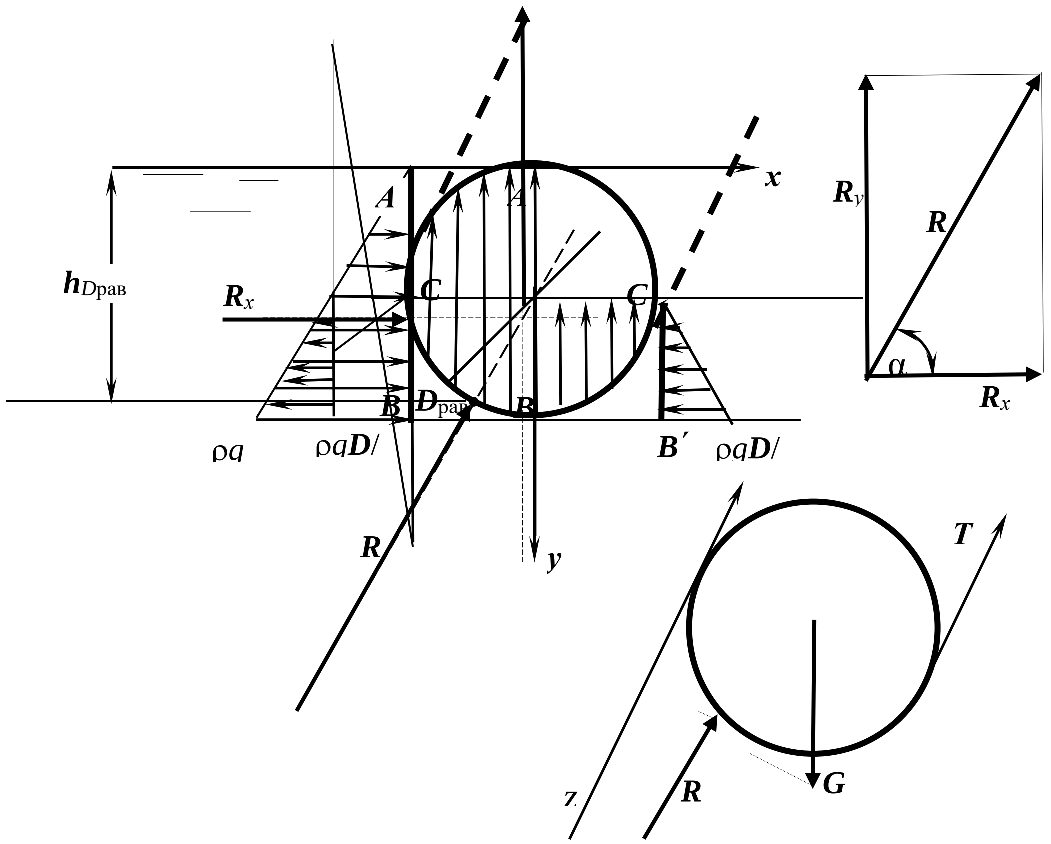
<u>Практическая работа № 2.</u>

Тип: Расчетно-графическая работа.

Задача

Цилиндрический затвор диаметром D и длиной l, масса которого M, открывается при качении его вверх цепью по наклонным направляющим, составляющим угол α с горизонтом. Определить величину и точку приложения силы давления на закрытый затвор найти натяжение цепи при трогании затвора с места и при выходе его из воды.

Дано: D=1,3 м; l=11 м; M=26 т.



Равнодействующая давления жидкости на криволинейную поверхность определяется как геометрическая сумма двух ее проекций

$$\vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y \,,$$

модуль ее

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \,,$$

угол наклона равнодействующей к горизонту α найдется из соотношения:

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg}\left(R_y/R_x\right).$$

Горизонтальная составляющая силы давления на криволинейную поверхность определяется как сила давления на плоскую вертикальную проекцию криволинейной поверхности

$$R_x = \rho g y_C A_y.$$

Вертикальная составляющая силы давления жидкости равна силе тяжести жидкости, заключенной в объеме тела давления

$$R_y = \rho g V_{\text{т.д.}}$$

Точка приложения вертикальной составляющей расположена в центре тяжести тела давления.

Решение.

1. Покажем два направления - x и y, по которым определим составляющие силы давления с последующим их геометрическим сложением/

2. Определим горизонтальную составляющую силы давления

Так как действие жидкости на затвор имеется с двух сторон целесообразно определить составляющую R_x, как геометрическую сумму горизонтальных сил слева R'_x и справа R_x'' . При расчёте графо-аналитическим методом можно сразу определить суммарное горизонтальное усилие, построив суммарную эпюру давления.

Прежде всего криволинейную поверхность AB спроектируем внутрь жидкости на вертикальную плоскость и получим вертикальную проекцию $A'B'$ в виде прямоугольника высотой, равной диаметру D и длиной (шириной) l. Строим эпюру давления. Откладываем по нормали к вертикальной проекции величину давления в характерных точках в удобном масштабе, соединяем полученные точки наклонной прямой. Эпюра давления представляет треугольную призму с основанием в виде треугольника и высотой l .

Проделаем все это для жидкости справа. Криволинейную поверхность *CB* спроектируем внутрь жидкости на вертикальную плоскость, получим вертикальную проекцию *CB*" в виде прямоугольника высотой $D/2$ и длиной l. Эпюра давления представляет треугольную призму с основанием в виде треугольника и высотой l .

Суммарная эпюра, учитывающая действие жидкости с двух сторон, имеет основание в виде трапеции и высоту l.

Горизонтальную составляющую силы давления воды на затвор теперь определим по формуле:

$$R_x = S_{эп}l,$$

где $S_{эп}$- площадь суммарной эпюры давления

$$R_x=½(D+ D/2)\,\rho g\, D/2\cdot l=0,5\cdot(1,3+0,65)\cdot 1000\cdot 9,8\cdot 0,65\cdot 11=63318 \text{ Н} =63,3 \text{ кН}.$$

Положение центра тяжести эпюры в виде трапеции при графо-аналитическом методе решения определяется графически следующим способом.

а) к меньшему основанию трапеции на его продолжении прибавляем большее основание трапеции;

б) к большему основанию трапеции в противоположную сторону прибавляем меньшее основание;

в) соединяем полученные две точки прямой линией;

г) через середины оснований трапеции проводим вторую линию;

д) точка пересечения двух линий является центром тяжести эпюры давления в виде трапеции.

Через эту точку проводим линии действия R_x.

3. Для определения вертикальной составляющей R_y находим результирующее тело давления. Для левой части получаем отрицательное тело давления объёмом в виде полуцилиндра (заштриховано со стрелками, указывающими направление действия жидкости). Для правой части тело давления также отрицательное с объёмом равным четверти цилиндра. Следовательно, результирующее тело давления - это объем, соответствующий ¾ объема цилиндра, тело давления – фиктивное, действие жидкости направлено вверх (выталкивание). Линию действия R_y проводим с направлением вверх из центра тяжести результирующего тела давления, взятого на оси симметрии.

$$R_y= \rho g V_{т.д}= \rho g(¾\, \pi\, D^2/4l) =1000\cdot 9,8\cdot 3/4\cdot 3,14\cdot 1,3^2/4\cdot 11=107259 \text{ Н}= 107 \text{ кН}.$$

4. Находим величину равнодействующей R:

$$R=\sqrt{63{,}3^2+107^2}=124{,}5 \text{ кН}.$$

Вне чертежа выполним геометрическое сложение сил.

Угол α наклона равнодействующей к горизонту найдём через $\sin\alpha= R_y/R=c$

$$\alpha = \arcsin c= \arcsin 0{,}86= 59°.$$

Равнодействующая R направлена радиально к криволинейной поверхности через центр цилиндрической поверхности.

5. Для определения силы натяжения цепи показываем затвор с приложенными силами. Условие равновесия рассмотрим, проектируя силы на ось z, проведенную по направлению силы T:

при трогании с места

$2T + R\cdot\cos 11°-G\cos 20°=0$; $T=(G\cos 20°- R\cdot\cos 11°)/2=26\cdot 9,8\cdot 0,94-124,5\cdot 0,98/2=58,8$ кН;

при выходе из воды

$2T -G\cos 20°=0$; $T= G\cos 20°/2=26\cdot 9,8\cdot 0,94/2= 120$ кН;

Ответ: Равнодействующая R=124,5 кН, направлена под углом 59°, при трогании с места T=58,8 кН; при выходе из воды T=120 кН.

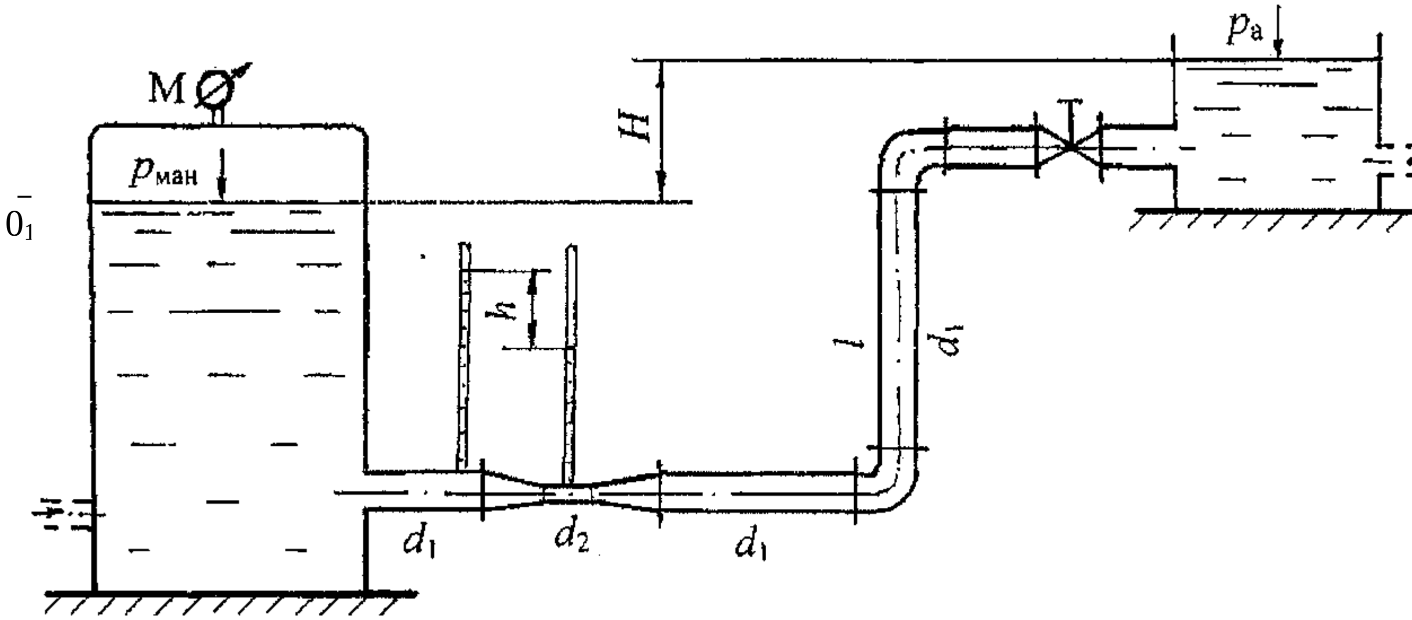
Практическая работа № 3

Тип: Расчетно-графическая работа

Задача

Из закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности $p_{ман}$ = 0,8 ат вода подаётся в открытый резервуар на высоту *H*. Для определения расхода воды на магистральном трубопроводе диаметром d_1 = 100 мм и длиной l = 100 м установлен расходомер Вентури с диаметром цилиндрической вставки d_2 = 50 мм. Разность показаний пьезометров расходомера h = 0,6 м (рис. 4.14).

Определить пропускную способность системы *(Q)* и высоту подъёма воды *(H)*. Считать трубы водопроводные в нормальных условиях. Потерями напора в расходомере можно пренебречь. Учесть потери напора во всех местных сопротивлениях, принимая коэффициент сопротивления вентиля $\varsigma_{вент}$ = 14,5.



Решение

1. Выбираем два сечения: 1-1 и 2-2 в местах установки пьезометров, это сечение проводим нормально к направлению движения жидкости. Сечения нумеруем по ходу движения жидкости.
2. Плоскость сравнения 0-0 проводим по оси трубопровода.
3. Записываем уравнение Бернулли в общем виде, определяем все параметры и производим их подстановку:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$$

$z_1 = 0$; $z_2 = 0$;

$p_1 = p_a + \rho g h_1$; $p_2 = p_a + \rho g h_2$;

Для того чтобы выразить соотношение скоростей воспользуемся уравнением неразрывности :

$$\upsilon_1 \cdot \omega_1 = \upsilon_2 \cdot \omega_2$$

ω - площадь сечения $\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ $\omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$

$\upsilon_1 = \upsilon$; $\upsilon_2 = \upsilon d_1^2 / d_2^2 = 4\upsilon$.

$h_{w_{1-2}} = 0$, т.к. пренебрегаем потерями напора в расходомере;

коэффициент Кориолиса α принимаем равным 1, предполагая турбулентный режим.

$$\frac{p_а}{\rho g}+\frac{\rho g h_1}{\rho g}+\frac{\upsilon^2}{2g}=\frac{p_а}{\rho g}+\frac{\rho g h_2}{\rho g}+\frac{16\upsilon^2}{2g}$$

$$h_1-h_2=\frac{16\upsilon^2}{2g}-\frac{\upsilon^2}{2g} \quad h=\frac{15\upsilon^2}{2g}$$

$$\upsilon=\sqrt{\frac{2gh}{15}}$$

откуда
$$\upsilon=\sqrt{\frac{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}6}{15}}=0{,}89 \text{ м/с.}$$

Определим величину расхода

$$Q=\upsilon\cdot\frac{\pi d_1^2}{4}=0{,}89\cdot\frac{3{,}14\cdot 0{,}01}{4}=0{,}007 \text{ м}^3\text{/с.}$$

Для определения высоты подъема воды применим уравнение Бернулли для сечений 3-3 и 4-4 и плоскости сравнения 0_1-0_1.

$$z_3+\frac{p_3}{\rho g}+\frac{\alpha_3\upsilon_3^2}{2g}=z_4+\frac{p_4}{\rho g}+\frac{\alpha_4\upsilon_4^2}{2g}+h_{w_{3-4}}$$

$z_3 = 0$; $z_4 = H$;
$p_3 = p_а + p_{ман}$; $p_4 = p_а$;
$\upsilon_3 = 0$; $\upsilon_4 = 0$.

$$\frac{p_а}{\rho g}+\frac{p_{ман}}{\rho g}=H+\frac{p_а}{\rho g}+h_{w_{3-4}}$$

$$H=\frac{p_{ман}}{\rho g}-h_{w_{3-4}}$$

Рассчитаем потери напора в гидравлических сопротивлениях по формуле

$$h_w=\Sigma\ h_r+h_l,$$

потери напора в местных сопротивлениях

$$\Sigma\ h_r=\sum\zeta\frac{\upsilon^2}{2g}$$

где $\sum\zeta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений. Учитываем потери напора на входе в трубу, в двух коленах, в вентиле и на выходе в резервуар:

$$\sum\zeta=\zeta_{вх}+2\zeta_{кол}+\zeta_{вент}+\zeta_{вых}=0{,}5+2\cdot 0{,}39+14{,}5+1=16{,}78$$

Потери напора по длине определяем по формуле:

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

Для выбора расчётной формулы коэффициента гидравлического сопротивления λ определим режим движения жидкости по критерию Рейнольдса

$$Re=\frac{\upsilon\ d}{\nu},$$

в формулу входит коэффициент кинематической вязкости ν, который примем по таблице: $\nu = 1{,}008 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

$$Re = \frac{0{,}89 \cdot 0{,}1}{1{,}008 \cdot 10^{-6}} = 88294 > 2300 \text{ режим турбулентный.}$$

Примем значение коэффициента гидравлического сопротивления λ по таблице

$$\lambda = 0{,}0321$$

$$h_w = 16{,}78 \frac{0{,}89^2}{2 \cdot 9{,}8} + 0{,}0321 \cdot \frac{100}{0{,}1} \cdot \frac{0{,}89^2}{2 \cdot 9{,}8} = 2 \text{ м.}$$

Определим высоту подъема воды

$$H = \frac{0{,}8 \cdot 9{,}8 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9{,}8} - 2 = 6 \text{ м.}$$

Ответ: пропускная способность системы Q = 7,1 л/с; высота подъёма воды H= 6,0 м.

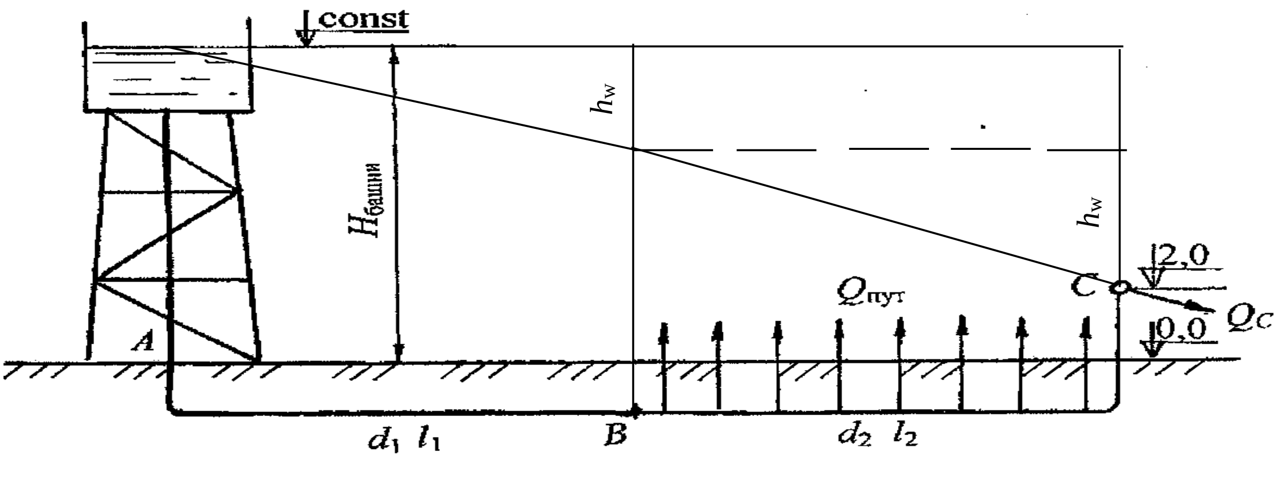
Практическая работа № 4

Тип: Расчетно-графическая работа

Задача

Из водонапорной башни A вода поступает потребителю ***C*** с расходом Q_C = 8,0 л/с на отметку 2,0 м. Водопроводная система состоит из двух участков. Диаметры и длины участков: d_1= 150 мм, l_1 = 500 м; d_2 = 125 мм, l_2 = 400 м. На втором участке предусмотрен путевой расход $Q_{пут}$ = 12,0 л/с (рис. 5.8).

Определить действующий напор воды водонапорной башни ($H_{башни}$) при постоянной отметке горизонта воды. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5% от потерь по длине.



Решение

Сложная система, состоит из напорной башни с напором H и двух последовательно соединённых труб разного диаметра и разной длины с истечением жидкости в атмосферу. На основании уравнения Бернулли действующий напор H определяется по формуле

$$H = 2{,}0 + h_{wсист.}$$

Потери напора в системе при последовательном соединении труб рассчитываются, как сумма потерь напора на отдельных участках, причем определяются потери напора по длине, а местные потери учитываются с помощью коэффициента

$$h_{w\text{сист}}=1{,}05\ h_{l1} + 1{,}05\ h_{l2}.$$

Потери по длине участков определяются с помощью обобщенного параметра A

$$h_{l1} = A_1\ l_1\ Q_1^2,$$

а расход определится как сумма расхода у потребителя Q_C и путевого расхода

$$Q_1 = Q_C + Q_{\text{пут}},$$

На втором участке кроме транзитного расхода Q_C имеется путевой расход $Q_{\text{пут.}}$

Общие потери по длине трубопровода с учётом путевого и транзитного расходов определяются по формуле

$$h_{l2} = A_2\ l_2(Q_C^2 + Q_C \cdot Q_{\text{пут}} + Q^2_{\text{пут}}/3).$$

Значение коэффициентов A_1 и A_2 принимаем по таблице в зависимости от диаметра

$d_1 = 150$ мм, $A_1 = 31{,}18$ с^2/м^6 $d_2 = 125$ мм, $A_2 = 81{,}60$ с^2/м^6

$H = 2{,}0 + 1{,}05 \cdot 31{,}18 \cdot ((8 + 12) \cdot 10^{-3})^2 \cdot 500 + 1{,}05 \cdot 81{,}60 \cdot (0{,}008^2 + 0{,}008 \cdot 0{,}012 + 0{,}012^2/3) =$
$= 2{,}0 + 6{,}55 + 7{,}13 = 15{,}68$ м

Ответ: высота водонапорной башни $H_{\text{башни}}=15{,}68$ м.

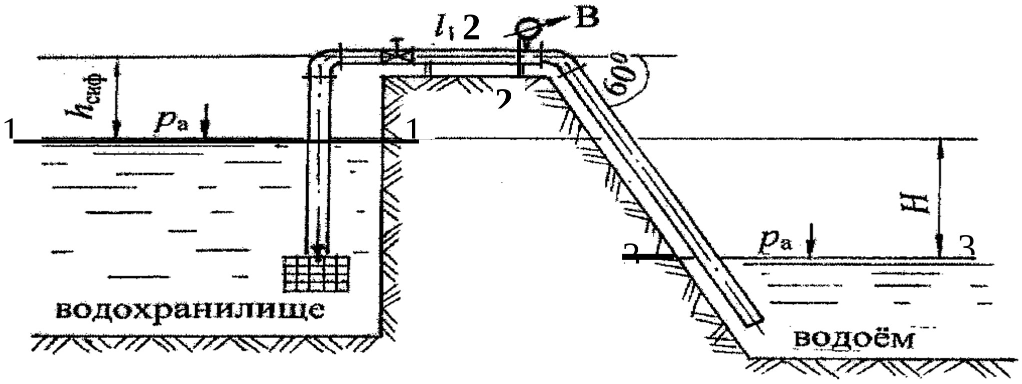
Практическая работа № 5.

Тип: Расчетно-графическая работа

Задача

Сифонный водосброс диаметром $d = 200$ мм и длиной $l = 10$ м сбрасывает воду из водохранилища в водоём, уровень которого на $H = 2{,}5$ м ниже уровня воды в водохранилище.

Определить пропускную способность сифона (Q, л/с), если труба водопроводная загрязнённая имеет водозаборную сетку с обратным клапаном, два колена: одно с углом закругления $\alpha_1 = 90°$ и отношением $r/R = 0{,}5$; второе без закругления с углом $\alpha_2 = 60°$; вентиль с коэффициентом сопротивления $\zeta_{\text{вент}} = 5{,}0$ и выход из трубы в резервуар больших размеров. Рассчитать, каким должен быть вакуум ($p_{\text{вак}}$, в ат.) в конце горизонтального участка сифона, если длина трубы до этого сечения $l_1 = 4{,}0$ м, высота сифона $h_{\text{сиф}} = 1{,}5$ м.



Решение.

Воспользуемся уравнением Бернулли.

1. Для определения пропускной способности сифона (Q) составим уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2, проведённых по свободным поверхностям воды в водохранилище и водоеме, где скорости можно считать равными нулю ($\upsilon_{1\text{сеч.}} = \upsilon_{2\text{сеч.}}, = 0$), а абсолютное давление – равным атмосферному ($p_1 = p_a$; $p_2 = p_a$), так как резервуары открыты. Плоскость сравнения совместим с сечением 2-2, тогда $z_1=H;\ z_2=0$.

Запишем уравнение Бернулли и сделаем подстановку параметров:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$$

$z_1 = H$; $z_2 = 0$;

$p_1 = p_a$; $p_2 = p_a$;

$\upsilon_1 = 0$; $\upsilon_2 = 0$.

$$H = h_{w_{сиф}}$$

Разность уровней жидкости H (напор) в резервуарах должна быть такой, чтобы преодолеть гидравлические сопротивления в трубопроводе - $h_{w\ сиф}$

Потери напора в гидравлических сопротивлениях:

$$h_{w_{сиф}} = \sum\zeta\frac{\upsilon^2}{2g} + \lambda\frac{l}{d}\frac{\upsilon^2}{2g} = \frac{\upsilon^2}{2g}(\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d})$$

$$H = \sum\zeta\frac{\upsilon^2}{2g} + \lambda\frac{l}{d}\frac{\upsilon^2}{2g} = \frac{\upsilon^2}{2g}(\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d})$$

Скорость движения воды в трубе

$$\upsilon = \sqrt{\frac{1}{\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d}}}\sqrt{2gH}$$

расход Q

$$Q = \omega\sqrt{\frac{1}{\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d}}}\sqrt{2gH},$$

где $$\sqrt{\frac{1}{\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d}}} = \mu_{сиф}$$

- коэффициент расхода сифона.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений (значения коэффициентов по табл.):

$$\sum\zeta = \zeta_{сет} + \zeta_{кол1} + \zeta_{кол2} + \zeta_{вент} + \zeta_{вых} .=10 + 0{,}294 + 0{,}55 +5{,}0 + 1 = 16{,}844.$$

По условию задачи дано описание состояния внутренней поверхности трубы: водопроводная загрязненная труба, коэффициент гидравлического сопротивления λ определяем по формуле:

$$\lambda = 8g/C^2$$

где коэффиент Шези C можно рассчитать по формуле Маннинга

$$C= R^{1/6}/ n,$$

n - коэффициент шероховатости (по таблице).

Для несколько загрязненных труб принимаем n =0,013 или $1/n$ =76,9.

Гидравлический радиус R для круглой трубы

$$R = d/4 = 0{,}2/4=0{,}05 \text{ м.}$$

$$C=76{,}9\cdot 0{,}05^{1/6} = 46{,}7.$$

$$\lambda = 8\cdot 9{,}8/46{,}7^2 = 0{,}036.$$

Подставляя все значения в формулу, получаем

$$\mu_{сиф}=\sqrt{\frac{1}{16{,}844+0{,}036\frac{10}{0{,}2}}}=0{,}169.$$

$$\upsilon=0{,}169\sqrt{2\cdot 9{,}8\cdot 2{,}5}=1{,}2\ \text{м/с}.$$

Площадь живого сечения трубы

$$\omega=\pi d^2/4=3{,}14\cdot 0{,}04/4=0{,}0314\ \text{м}^2.$$

Расход

$$Q=\upsilon\cdot\omega=1{,}2\cdot 0{,}0314=0{,}038\ \text{м}^3/\text{с}=38\ \text{л/с}.$$

С ответом не сходится, поэтому определим коэффициент гидравлического сопротивления λ по абсолютной шероховатости $\Delta_э$=0,5 мм для умеренно заржавевших труб по формуле Шифринсона, предполагая режим течения воды - турбулентный, область сопротивления - квадратичная

$$\lambda=0{,}11(\Delta_э/d)^{0,25}=0{,}11(0{,}5/200)^{0,25}=0{,}024$$

$$\mu_{сиф}=\sqrt{\frac{1}{16{,}844+0{,}024\frac{10}{0{,}2}}}=0{,}0235.$$

$$\upsilon=0{,}235\sqrt{2\cdot 9{,}8\cdot 2{,}5}=1{,}65\ \text{м/с}.$$

Площадь живого сечения трубы

$$\omega=\pi d^2/4=3{,}14\cdot 0{,}04/4=0{,}0314\ \text{м}^2.$$

Расход

$$Q=\upsilon\cdot\omega=1{,}65\cdot 0{,}0314=0{,}0518\ \text{м3/с}=51{,}8\ \text{л}\ \mathit{1}\ \text{с}.$$

Проверим режим движения, рассчитаем число Рейнольдса

$$Re=\frac{\upsilon\ d}{\nu}=\frac{1{,}65\cdot 0{,}2}{1{,}008\cdot 10^{-6}}=327380>2300\ \text{режим турбулентный.}$$

$\nu=1{,}008\cdot 10^{-6}$м^2/с – кинематический коэффициент вязкости воды (по таблице)

Проверим область сопротивления турбулентного режима

$$500\ d/\ \Delta_э=500\cdot 200/0{,}5=200000.$$

Число Рейнольдса для потока больше, значит область сопротивления квадратичная и λ определено верно.

2. Определим вакуум $p_{вак}$ в конце горизонтального участка сифона.

Для расчёта воспользуемся уравнением Бернулли для сечений 1-1 по свободной поверхности в питающем резервуаре и 3-3 - в точке сифона, где стоит вакуумметр. Сечение 3-3 проводим нормально к направлению движения потока воды. Скорость равна v, аабсолютное давление $p_3=p_а-p_{вак}$. Плоскость сравнения 0' - 0' совместим с сечением 1-1, тогда $z_1=0$; $z_3=h_{сиф}$.

Итак, уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 3-3:

$$z_1+\frac{p_1}{\rho g}+\frac{\alpha_1\upsilon_1^2}{2g}=z_3+\frac{p_3}{\rho g}+\frac{\alpha_3\upsilon_3^2}{2g}+h_{w_{1-3}}$$

$z_1=0$; $z_3=h_{сиф}$;

$p_1=p_а$; $p_3=p_а-p_{вак}$;

$\upsilon_1=0$; $\upsilon_3=\upsilon$.

$$\frac{p_а}{\rho g}=h_{сиф}+\frac{p_а}{\rho g}-\frac{p_{вак}}{\rho g}+\frac{\alpha\ \upsilon^2}{2g}+h_{w_{1-3}}$$

$$\frac{p_{вак}}{\rho g} = h_{сиф} + \frac{\alpha\ v^2}{2g} + h_{w_{1-3}}$$

Потери напора в гидравлических сопротивлениях учитываются только между сечениями 1-1 и 3-3:

$$h_{w_{1-3}} = (\sum\zeta + \lambda\frac{l_1}{d})\frac{v^2}{2g}$$

Значение коэффициентов местных сопротивлений и коэффициента Дарси возьмём из предыдущего расчёта.
Сумма коэффициентов местных сопротивлений между сечениями 1-1 и 3-3:

$$\Sigma\ \zeta = \zeta_{сет} + \zeta_{кол1} + \zeta_{вент} = 10 + 0{,}294 + 5 = 15{,}294.$$

Для турбулентного режима коэффициент Кориолиса $\alpha = 1$.
После подстановки данных в уравнение Бернулли получим:

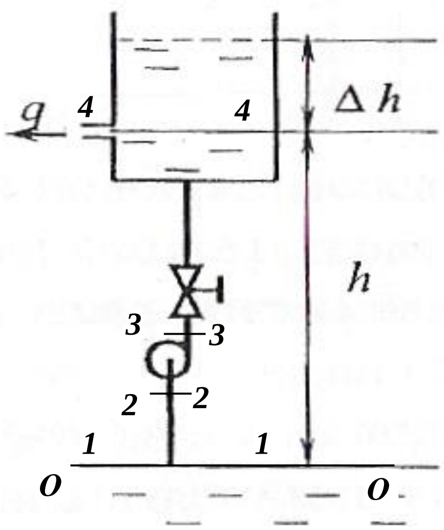
$$\frac{p_{вак}}{\rho g} = 1{,}5 + \frac{1{,}65^2}{2\cdot 9{,}8} + \frac{1{,}65^2}{2\cdot 9{,}8}(15{,}294 + 0{,}024\frac{4}{0{,}2}) = 3{,}7 \text{ м вод.ст.}$$

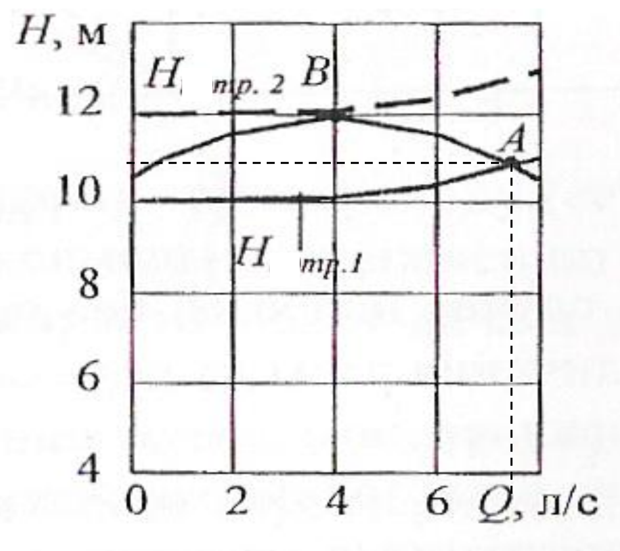
Вакуумметрический напор переводим в ат: 1 ат = 10 м вод. ст., значит, $p_{вак}$ = 0,37 ат.

Ответ: пропускная способность сифона Q = 51,8 л/с, вакуум в конце горизонтального участка $p_{вак}$ = 0,37 ат.

<u>Практическая работа № 6.</u>
Тип: Расчетно-графическая работа
Задача .

Из резервуара с постоянным уровнем вода подается центробежным насосом в бак, из которого забирается в количестве $\boldsymbol{q}$ = 3 л/с. Отверстие заборной трубы находится на высоте $\boldsymbol{h}$ = 10 м над поверхностью воды в резервуаре. Определить подачу и напор насоса в начальный момент работы насоса, когда уровень воды в баке располагается на высоте $\boldsymbol{h}$. До какого наибольшего уровня может подняться вода в баке? Какими будут в этот момент подача и напор насоса? Задана характеристика насоса - зависимости, напора от подачи: суммарный коэффициент сопротивления трубопровода ($\Sigma\zeta + \lambda\frac{\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{d}}$)= 15,1; диаметр трубопровода $\boldsymbol{d}$= 100 мм.





<u>Решение</u>

Насос в сети создает напор, потребный для ее работы, величина которого определяется как разность полных напоров на выходе из насоса и на входе в него

$$H_н = H_3 - H_2 .$$

Полные напоры H_2 и H_3 выражаются с помощью уравнения Бернулли при учете движения жидкости в трубопроводах сети:

$$H_1 = H_2 + h_{n_{1-2}} ; \qquad H_3 = H_4 + h_{n_{3-4}} ;$$

тогда
$$H_н = H_{тр} = H_4 + h_{n_{3-4}} - H_1 + h_{n_{1-2}} ;$$

$$H_н = H_4 - H_1 + h_{n_{1-4}} ,$$

т. е. потребный для данной сети напор при подаче Q определяется разностью удельных энергий в конце и в начале сети и величиной потерь энергии на преодоление сопротивлений на всем пути движения жидкости от места забора на поверхности питающего резервуара (сечение ***1-1***) до места приема ее на поверхности в потребляющем резервуаре (***4 -4***).

При подстановке значений H_4 , H_1 и $h_{n_{1-4}}$ общее уравнение преобразуется в формулу для конкретного примера на рис.

$$H_4 = h + \frac{p_{ат}}{\rho g} ; \qquad H_1 = \frac{p_а}{\rho g} ;$$

(скорости в резервуарах не учитываются вследствие малости), и окончательно

$$H_н = H_{тр} = h + h_{п_{1-4}} = h + aQ^2,$$

где a- полное сопротивление трубопровода:

$$a = \frac{(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d})\cdot 8}{\pi^2 g d^4} = \frac{15{,}1\cdot 8}{3{,}14^2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}1^4} = 12502$$

Для построения характеристики сети задаемся значениями расхода и определяем потребный напор

Q, м³/с	0	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
$H_н = H_{тр}$, м	10	10,05	10,11	10,2	10,3	10,45	10,61

По данным таблицы построена характеристика сети ***1***. точка пересечения ее с характеристикой насоса (***A***) определяет рабочий режим насоса в сети:

Q=7,5 л/с; $H_н$=10,7 м.

Итак, насос подает 7,5 л/с, по заборной трубе забирается 3 л/с, следовательно, уровень воды в баке будет подниматься. Насос будет работать в сети до тех пор, ока имеется точка пересечения двух характеристик трубопровода и насоса. Самая высокая - это точка ***B***: при этом подача Q=4,0 л/с, $H_н$=12,0 м.

Определим до какого наибольшего уровня может подняться вода в баке?

$$12 = h + \Delta h + h_{п_{1-4}} = 10 + \Delta h + 12502\cdot 0{,}004^2$$

$$\Delta h = 1{,}8 \text{ м.}$$