

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ижевский государственный технический университет»

**Решения задач размещены
на сайте zadachi24.ru**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ГИДРАВЛИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ 290700 И 290800**

2-е издание, дополненное



Ижевск Издательство ИжГТУ 2007

УДК 621.22(07)+532(07)

ББК 30.123я7

М54

Составитель канд. техн. наук, доц. Л.Е. Шейнман

Рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование» ИжГТУ 1 марта 2006 г.

Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине
M54 «Гидравлика» для студентов заочного отделения специальностей направления
653500 «Строительство» : учеб.-метод.пособие / [сост. Л. Е. Шейнман]. – 2-е изд.,
доп. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. – 38 с.

Настоящие методические указания предназначены для студентов специальностей направления 635500, изучающих дисциплины «Гидравлика» и «Инженерная гидравлика». Указания содержат методику и расчетные формулы, необходимые для выполнения контрольных работ, задания и справочный материал.

УДК 621.22(07)+532(07)

ББК 30.123я7

- © Шейнман Л.Е., составление, 2006
- © Шейнман Л.Е., составление, 2007
- © Издательство ИжГТУ, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания содержат материалы двух контрольных работ по дисциплине «Гидравлика». Цель выполнения этих заданий – дать студенту навыки применения гидравлических зависимостей и методик практических расчетов гидравлических устройств и систем, с которыми он может столкнуться в процессе инженерной деятельности.

Студенту, выполняющему контрольную работу, нужно придерживаться некоторых общих правил выполнения подобных расчетов:

1. Не следует использовать большое количество знаков при подстановке численных значений в расчетные формулы. Для большинства гидравлических расчетов (там, где это специально не оговорено) достаточна точность в три значащих цифры (третья цифра округляется).

Например, вместо числа 28 363 541 целесообразно использовать число 28 400 000; вместо числа 0,024 340 587 использовать 0,024 3.

Округление нужно производить в конце расчетной формулы.

Если расчет проводится с помощью калькулятора и процесс вычисления идет с применением результата вычислений по предыдущей формуле, то специально выводить этот предыдущий результат из калькулятора для округления не нужно; достаточно округлить лишь конечный результат.

Расчеты с точностью менее трех значащих цифр не допускаются.

2. Все расчеты выполняются в системе СИ. Это означает, что все длины в формулы подставляются в м, время – в с, силы – в Н, давления – в Па (а не в МПа), расходы – в м³/с, площади – в м² и т. д.

3. При оформлении пояснительной записи необходимо перед применением каждой формулы комментировать свои действия, например: «Определяем площадь поперечного сечения трубопровода: ...».

Затем приводится применяемая формула в буквенном виде, ставится знак равенства и записывается та же формула, где вместо букв подставлены численные значения всех величин (их размерность при этом не указывается). Далее снова ставится знак равенства и приводится результат вычислений с размерностью этого результата в системе СИ.

Если требуется перевести результат из м в мм, из Па в МПа и т. д., то еще раз ставится знак равенства и приводится новое значение результата с новой размерностью.

Неуказание размерности размерной величины является грубой ошибкой.

4. Титульный лист пояснительной записи оформляется, как показано на следующей странице.

5. Перед каждой задачей указывается ее номер, номер варианта, приводится расчетная схема, имеющаяся в начале каждой задачи, и выписываются все исходные данные. Расчетная схема должна быть аккуратно вычерчена. Сканирование или копирование схем на ксероксе не допускается.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по курсу «Гидравлика»

Выполнил: студент группы 3-11-1с

И.И. Иванов

Принял: ст. преподаватель

П.П. Сидоров

Ижевск 2007

1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

1.1. Указания к контрольной работе № 1

В данной контрольной работе приводятся задачи на основной закон гидростатики и его применение для расчета сил, действующих со стороны жидкости на плоские и криволинейные стенки сосудов. При этом студент должен усвоить и закрепить понятия шкал для измерения давления, единиц измерения давления в системе СИ и в технической системе, пересчет давлений из одной шкалы в другую, из системы СИ в техническую и наоборот.

В гидравлике применяются две шкалы для измерения давления – абсолютная и избыточная.

В абсолютной шкале за нуль принят абсолютный нуль давления; давление, отчитывающееся от него, называется *абсолютным* и обозначается $p_{\text{абс}}$.

В избыточной шкале за нуль принята величина среднего атмосферного давления на уровне моря p_a , принятая за стандартное значение. Давление, отчитывающееся от этого нуля, называется *избыточным* и обозначается $p_{\text{и}}$.

Пересчет давления из одной шкалы в другую при $p_{\text{абс}} > p_a$ производится по формуле $p_{\text{и}} = p_{\text{абс}} - p_a$.

Если $p_{\text{абс}} < p_a$, то недостаток от абсолютного давления до атмосферного называется *вакуумметрическим давлением* и обозначается $p_{\text{вак}}$.

Пересчет давления из одной шкалы в другую при $p_{\text{абс}} < p_a$ производится по формуле $p_{\text{вак}} = p_a - p_{\text{абс}}$.

В системе СИ единица измерения давления – Паскаль (Па). 1 Па = 1 Н/м². Применяются также кратные единицы – МПа, кПа.

В технической системе (МКГСС) единица измерения давления – атмосфера техническая (ат). 1 ат = 1 кгс/см². В этой системе введены дополнительные обозначения для указания шкалы измерения давления: ата – абсолютное давление; ати – избыточное давление, атв – вакуумметрическое давление, атм – атмосферное давление.

Пересчет давлений из одной системы в другую производится по формуле

$$1 \text{ ат} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Величина атмосферного давления составляет: $p_a = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Основной закон гидростатики выражает зависимость между давлениями в двух точках жидкости A и B (точка A лежит ниже точки B на расстоянии h):

$$p_A = p_B + \rho gh \quad (1.1)$$

Здесь ρ – плотность жидкости, кг/м³, g – ускорение силы тяжести.

Плотность воды при 4 °C равна 1 000 кг/м³, $g = 980$ м/с².

Рассмотрим применение основного закона гидростатики на примере многоколенного жидкостного манометра (рис. 1.1), где имеется четыре жидкости с плотностями $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$.

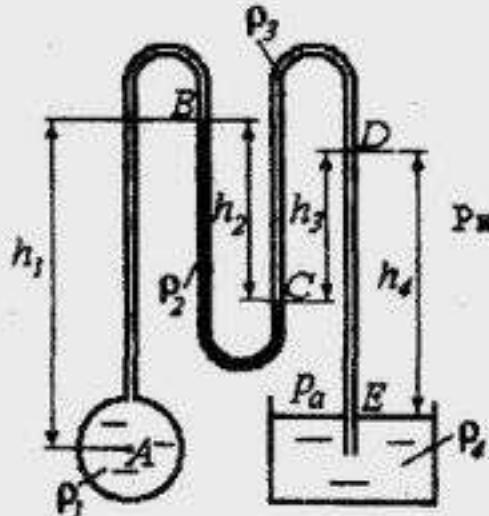


Рис. 1.1. Схема многоколенного жидкостного манометра

Пусть требуется вычислить избыточное давление в точке A . Для этого последовательно применяем формулу (1.1) для всех столбов жидкости, начиная с точки, где давление известно (точка E , где $p_{abc} = p_a$). Используем абсолютную шкалу давлений. Если, идя от одной точки к другой, мы опускаемся, приращение давления $\rho g h$ имеет положительный знак, если поднимаемся – отрицательный.

Получим:

$$p_D = p_a - \rho_4 g h_4; p_C = p_D + \rho_3 g h_3; p_B = p_C - \rho_2 g h_2; p_A = p_B + \rho_1 g h_1.$$

Проведя вычисления, получим абсолютное давление в точке A .

Для нахождения избыточного давления в этой точке применим формулу перехода:

$$p_A^u = p_A^{abc} - p_a.$$

Если избыточное давление получится отрицательным, то это значение, взятое со знаком «плюс», представляет собой вакуумметрическое давление в точке A .

Вычисление сил, действующих на плоскую наклонную стенку

Рассмотрим сосуд с жидкостью, боковая стенка которого имеет угол наклона α (рис. 1.1). На свободной поверхности $p = p_a$. Пусть требуется определить силу давления на часть стенки произвольной формы. Введем систему координат x, y и для выявления этой формы мысленно повернем стенку относительно оси oy до совмещения с плоскостью чертежа.

На рассматриваемой части стенки с площадью F (будем называть ее плоской фигурой) центр тяжести фигуры (точка c) находится на глубине h_c и отстоит от оси x на расстоянии y_c .

Будем учитывать только силу P от действия жидкостного столба, так как здесь сила, создаваемая атмосферным давлением, действует на стенку с двух сторон.

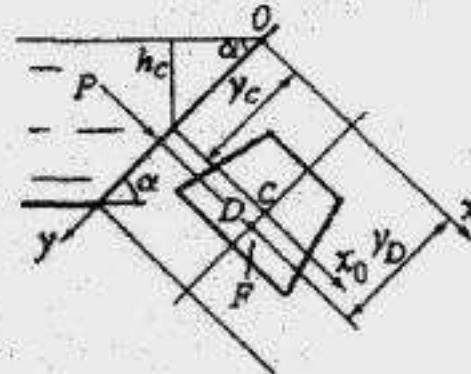


Рис. 1.2. Схема для определения силы давления жидкости на плоскую наклонную стенку

Эта сила, как доказывается в курсе гидравлики, вычисляется по формуле

$$P = \rho g y_c \sin \alpha \cdot F = \rho g h_c F = p_c F. \quad (1.2)$$

Здесь p_c – избыточное давление в центре тяжести плоской фигуры.

Точка приложения силы от давления на поверхность жидкостного столба называется центром давления. Расстояние y_D от центра давления (точка D на чертеже) определяется по формуле

$$y_D = y_c + \frac{I_{x_0}}{y_c F}. \quad (1.3)$$

Здесь I_{x_0} – центральный момент инерции фигуры относительно оси x_0 , m^2 .

Из последней формулы следует, что центр давления всегда лежит ниже центра тяжести плоской фигуры. Если стенка горизонтальна, центр тяжести и центр давления совпадают.

Вычисление силы от давления жидкости на криволинейные поверхности

В гидравлике часто встречаются криволинейные поверхности – сферические крышки резервуаров, шаровые клапаны, криволинейные стенки цилиндрических барабанов, цистерн и т. д.

Рассмотрим криволинейную цилиндрическую стенку AB , являющуюся частью стенки цистерны. (рис. 1.3). Последняя до половины заполнена жидкостью.

В верхней части цистерны находится сжатый воздух с избыточным давлением $p_0^{изб}$. Введем понятие пьезометрической плоскости. Ею называется плоскость, которая совпадает с высотой столба жидкости в пьезометре, присоединенном к сосуду. За счет избыточного давления над свободной поверхностью эта плоскость будет отстоять от свободной поверхности на расстоянии h_p . Эта высота вычисляется по формуле

$$h_p = \frac{p_0^{изб}}{\rho g}.$$

Если над жидкостью давление атмосферное, пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью.

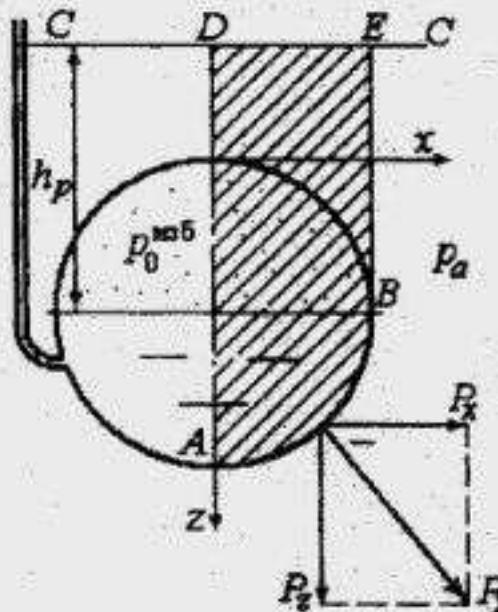


Рис. 1.3. Схема для определения силы давления жидкости на участок AB криволинейной стенки

Телом давления $W_{\text{тд}}$ называется объем жидкости, расположенный над рассматриваемой поверхностью стенки вплоть до пьезометрической плоскости.

В отличие от силы давления жидкости на плоскую стенку, где эта сила вычислялась целиком, в данном случае вычисляются по отдельности горизонтальная и вертикальная составляющие этой силы P_x и P_z .

Если для измерения давления применить избыточную шкалу, то снаружи сосуда давление равно нулю, а над жидкостью $p_0^{\text{изб}}$. Если радиус цистерны равен R , а длина цистерны в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, равна L , то сила вычисляется по формуле

$$P_x = p_c F_{yoz} = \left(p_0^{\text{изб}} + \rho g h_c \right) F_{yoz} = \left(p_0^{\text{изб}} + \frac{\rho g R}{4} \right) RL, \quad (1.4)$$

где $F_{yoz} = RL$ – площадь проекции криволинейной стенки на вертикальную плоскость yoz ; $h_c = R/4$ – расстояние от поверхности жидкости до центра тяжести этой проекции.

Сила P_z вычисляется по формуле

$$P_z = \rho g W_{\text{тд}}, \quad (1.5)$$

из которой следует, что величина P_z равна весу тела давления.

Результирующая сила, действующая на стенку, определяется по формуле:

$$P_Sigma = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (1.6)$$

Для определения тела давления схемы рис. 1.3 необходимо провести через точки, соответствующие началу и концу криволинейной стенки, две ограничивающие вертикальные плоскости – AD и BE . Полученное тело давления заштриховано. Его объем тела вычисляется следующим образом:

$$W_{\text{тд}} = \left(h_p R + \frac{\pi \cdot R^2}{4} \right) L.$$

Направление силы P_z (вверх или вниз) определяется по правилу: если реальная жидкость находящаяся у стенки, расположена над ней, сила направлена вниз, а если под ней – вверх.

Если у криволинейной стенки часть ее подвергается давлению жидкости, расположенной под стенкой, а часть над стенкой, то такую криволинейную стенку делят на две части и для каждой вычисляют вертикальные силы P_{z1} и P_{z2} .

Затем находят суммарную вертикальную силу $P_z = P_{z1} + P_{z2}$ с учетом знаков.

Некоторые примеры нахождения тела давления показаны на рис. 1.4 для случая цилиндрической цистерны, полностью заполненной жидкостью.

В верхней точке цистерны давление равно атмосферному.

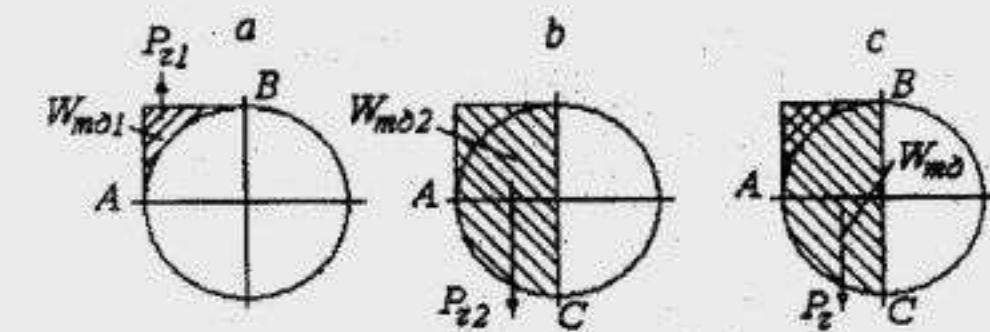
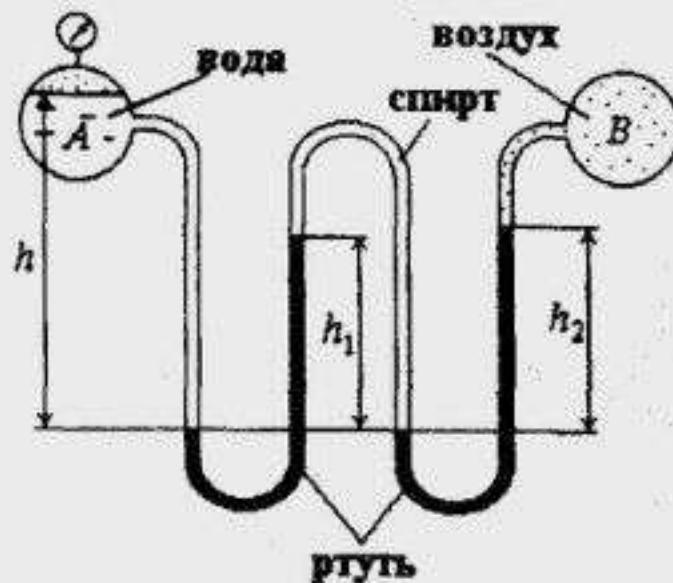


Рис. 1.4. Определение тела давления:

a – для поверхности AB ; b – для поверхности AC ; c – для поверхности ABC

1.2. Задачи к контрольной работе № 1

Задача 1



Найти абсолютное давление воздуха в сосуде B , если избыточное давление на поверхности воды в сосуде A равно p , а уровни жидкостей в трубках равны h , h_1 и h_2 .

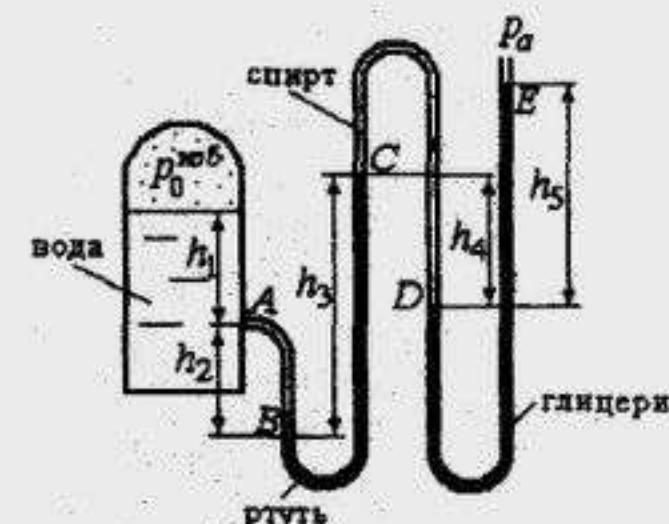
Плотности жидкостей:
вода – $1\ 000 \text{ кг}/\text{м}^3$;
спирт – $800 \text{ кг}/\text{м}^3$;
ртуть – $13\ 600 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Результат выразить в Па и в kgs/cm^2 .

№ вар.	$p_{\text{изб.}}$, кПа	h , м	h_1 , м	h_2 , м
1-1	25	0,7	0,2	0,3
1-2	18	1,5	0,3	0,3
1-3	30	0,9	0,25	0,2
1-4	45	1,3	0,35	0,25
1-5	10	1,0	0,3	0,4
1-6	50	1,35	0,15	0,45
1-7	15	0,8	0,4	0,3
1-8	20	1,1	0,25	0,35
1-9	14	0,6	0,12	0,26
1-10	16	1,2	0,18	0,36
1-11	19	1,27	0,32	0,28
1-12	33	0,75	0,38	0,24
1-13	42	1,25	0,16	0,18
1-14	45	0,85	0,22	0,35
1-15	20	1,45	0,28	0,27

№ вар.	$p_{\text{изб.}}$, кПа	h , м	h_1 , м	h_2 , м
1-16	40	2,0	0,5	0,2
1-17	12	1,2	0,32	0,28
1-18	32	1,75	0,36	0,27
1-19	48	0,95	0,14	0,32
1-20	54	1,25	0,29	0,38
1-21	22	1,45	0,45	0,15
1-22	65	0,85	0,35	0,18
1-23	20	1,1	0,15	0,16
1-24	25	1,15	0,20	0,19
1-25	30	1,2	0,25	0,22
1-26	35	1,25	0,30	0,24
1-27	40	1,35	0,35	0,26
1-28	45	1,40	0,40	0,28
1-29	50	1,5	0,45	0,20
1-30	55	1,8	0,55	0,35

Задача 2



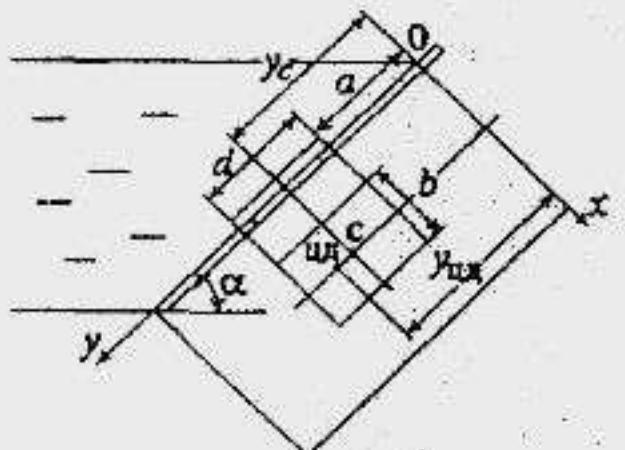
Определить высоту столба жидкости h_5 , если задано избыточное давление воздуха в сосуде $p_0^{\text{изб}}$ и известны все остальные высоты.

Плотности жидкостей:
вода – $1\ 000 \text{ кг}/\text{м}^3$;
спирт – $800 \text{ кг}/\text{м}^3$;
ртуть – $13\ 600 \text{ кг}/\text{м}^3$;
глицерин – $1\ 245 \text{ кг}/\text{м}^3$.

№ вар.	$p_{\text{изб.}}$, кПа	h_1 , м	h_2 , м	h_3 , м	h_4 , м
2-1	35	0,2	1,0	0,5	0,4
2-2	28	1,0	1,8	0,3	0,4
2-3	40	0,4	1,2	0,35	0,3
2-4	55	0,8	1,6	0,45	0,35
2-5	20	0,5	1,3	0,32	0,5
2-6	60	0,85	1,65	0,25	0,55
2-7	25	0,3	1,1	0,4	0,4
2-8	30	0,6	1,4	0,45	0,45
2-9	24	0,3	1,0	0,14	0,36
2-10	26	0,7	1,5	0,16	0,46
2-11	29	0,77	1,57	0,22	0,38
2-12	43	0,25	1,05	0,38	0,34
2-13	52	0,75	1,55	0,26	0,28
2-14	55	0,35	1,15	0,32	0,45
2-15	30	0,9	1,75	0,28	0,37

№ вар.	$p_{\text{изб.}}$, кПа	h_1 , м	h_2 , м	h_3 , м	h_4 , м
2-16	30	1,5	2,3	0,4	0,2
2-17	12	0,7	1,5	0,22	0,28
2-18	22	1,25	2,05	0,26	0,27
2-19	38	0,45	1,25	0,24	0,32
2-20	44	0,75	1,55	0,39	0,38
2-21	32	0,95	1,75	0,35	0,15
2-22	55	0,35	1,15	0,45	0,18
2-23	30	0,6	1,4	0,25	0,16
2-24	35	0,65	1,55	0,30	0,19
2-25	40	0,7	1,5	0,35	0,22
2-26	25	0,65	1,75	0,40	0,24
2-27	30	0,85	1,65	0,35	0,26
2-28	35	0,90	1,70	0,42	0,28
2-29	40	1,0	1,8	0,45	0,20
2-30	45	1,3	2,1	0,55	0,35

Задача 3



Прямоугольная ($b \cdot d$) квадратная ($d \cdot d$) либо круглая (φd) крышка люка закрывает отверстие в плоской наклонной стенке водоема.

Найти силу давления воды на крышку, а также расстояние $y_{цд}$ от точки 0 до центра давления Цд.

Плотность воды – 1 000 кг/м³.

Центральные моменты инерции плоских фигур (м⁴) рассчитываются по формулам:

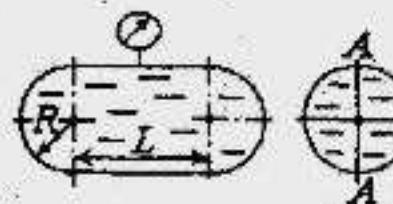
прямоугольник: $I_{цо} = bd^3/12$;

круг: $I_{цо} = \pi R^4/4$ (R - радиус круга).

№ вар.	Форма крышки	a , м	d , м	b , м	$\alpha, ^\circ$
3-1	круг	1	1	-	60
3-2	квадрат	10	1,2	1,2	40
3-3	прям.	5	1,7	0,7	30
3-4	квадрат	3	0,8	0,8	50
3-5	круг	7	1,3	-	35
3-6	прям.	4	1,5	1,0	70
3-7	круг	8	2,5	-	55
3-8	квадрат	6	1,1	1,1	45
3-9	прям.	2	0,5	1,1	35
3-10	квадрат	11	0,6	0,6	55
3-11	круг	13	0,7	-	65
3-12	прям.	15	0,9	2,0	80
3-13	квадрат	12	1,4	1,4	22
3-14	круг	9	1,3	-	90
3-15	прям.	14	1,4	1,8	75

№ вар.	Форма крышки	a , м	d , м	b , м	$\alpha, ^\circ$
3-16	прям.	9	0,7	0,6	65
3-17	квадрат	2	2,0	2,0	75
3-18	круг	8,5	1,8	-	35
3-19	прям.	3,8	1,4	1,2	42
3-20	круг	5,5	2,8	-	72
3-21	квадрат	7,6	2,2	2,2	55
3-22	прям.	9,2	0,9	0,7	62
3-23	квадрат	4,0	1,0	1,0	50
3-24	круг	5,0	1,5	-	45
3-25	прям.	6,0	1,8	2,5	48
3-26	квадрат	7,0	1,1	1,1	38
3-27	круг	8,0	1,3	-	35
3-28	прям.	9,0	1,4	2,0	67
3-29	квадрат	10	1,7	1,7	82
3-30	круг	16	2,1	-	70

Задача 4



Сварной цилиндрический резервуар с двумя полусферическими днищами полностью заполнен жидкостью. С помощью насоса в нем создано избыточное давление в верхней точке $p_{изб}$.

Найти:

а) горизонтальную силу, отывающую днище от цилиндрической части резервуара;

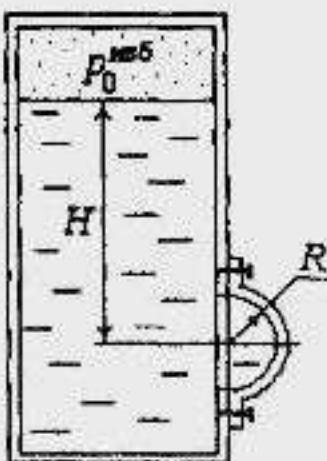
б) горизонтальную силу, отывающую левую половину резервуара от правой (см. сеч. А - А).

Плотности жидкостей, кг/м³: вода – 1 000; вода морская – 1 030; нефть – 885; бензин – 745; керосин – 810; масло И30 – 900; диз. топливо – 845; спирт – 800; глицерин – 1 245.

№ вар.	Жидкость	$p_{изб}$, МПа	L , м	R , м
4-1	вода	0,1	4	0,5
4-2	нефть	0,5	9	0,9
4-3	бензин	0,8	6	1,2
4-4	вода мор.	0,3	3	0,7
4-5	спирт	0,7	10	1,5
4-6	вода	0,6	7	1,0
4-7	масло И30	0,2	11	1,3
4-8	керосин	0,9	5	0,6
4-9	нефть	1,1	6	0,3
4-10	бензин	0,75	7	0,6
4-11	вода мор.	0,65	8	1,0
4-12	спирт	0,80	9	1,1
4-13	вода	2,50	10	1,2
4-14	масло И30	1,75	11	1,15
4-15	керосин	1,50	12	1,5

№ вар.	Жидкость	$p_{изб}$, МПа	L , м	R , м
4-16	вода мор.	0,4	12	1,1
4-17	бензин	1,0	8	0,8
4-18	вода	0,15	2,5	0,55
4-19	масло И30	0,35	3,5	0,75
4-20	глицерин	0,55	4,5	1,25
4-21	диз. топл.	0,45	5,5	0,85
4-22	нефть	0,25	6,5	0,6
4-23	вода мор.	0,3	5,0	0,5
4-24	бензин	0,45	6,0	0,6
4-25	вода	0,55	9,0	0,7
4-26	масло И30	0,65	10	0,8
4-27	глицерин	0,75	12	0,9
4-28	диз. топл.	0,85	8,0	1,0
4-29	нефть	1,25	6,6	1,1
4-30	вода	1,35	4,5	1,2

Задача 5



Круглое отверстие в вертикальной стенке резервуара, заполненного жидкостью, закрыто полусферической крышкой, закрепленной с помощью болтов.

Избыточное давление над жидкостью равно $P_0^{\text{изб}}$.

Найти:

- общую горизонтальную силу, отывающую болты;
- общую вертикальную силу, срезающую болты.

Объем сферы вычисляется как $W = \frac{4\pi \cdot R^3}{3}$.

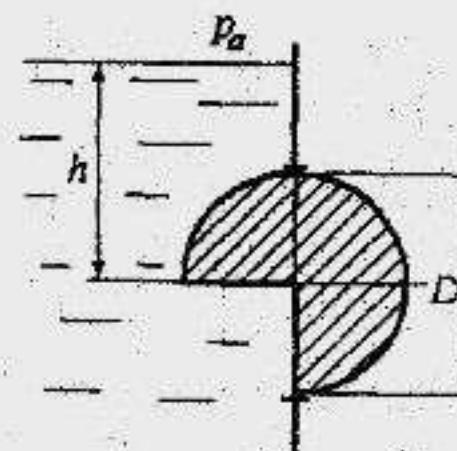
Плотности жидкостей взять из условий предыдущей задачи.

Построение тел давления и выбор знаков пояснить чертежами и схемами, а также формулами и комментариями.

№ вар.	Жидкость	$P_0^{\text{изб}}$, МПа	H , м	R , м
5-1	вода	0,10	3	0,5
5-2	нефть	0,15	8	1,0
5-3	керосин	0,20	11	0,6
5-4	бензин	0,25	5	1,2
5-5	масло И30	0,30	9	0,8
5-6	бензин	0,35	6	0,9
5-7	глицерин	0,40	10	0,6
5-8	нефть	0,50	7	1,1
5-9	вода мор.	0,60	4	0,8
5-10	спирт	1,1	6	0,9
5-11	диз. топл.	1,5	8	0,45
5-12	вода	1,7	9	1,0
5-13	керосин	1,9	10	0,35
5-14	глицерин	2,2	12	0,55
5-15	масло И30	2,5	14	1,25

№ вар.	Жидкость	$P_0^{\text{изб}}$, МПа	H , м	R , м
5-16	вода мор.	0,3	12	0,8
5-17	спирт	0,4	4,0	0,6
5-18	диз. топл.	0,5	5,5	0,7
5-19	вода	0,6	7,5	0,5
5-20	керосин	0,7	15	1,0
5-21	глицерин	0,8	8,5	1,1
5-22	масло И30	0,9	6,5	1,2
5-23	вода мор.	1,0	6,0	1,3
5-24	спирт	1,2	8,0	0,4
5-25	диз. топл.	1,3	10	0,6
5-26	вода	1,5	15	0,7
5-27	керосин	1,7	9,0	0,45
5-28	глицерин	2,0	18	0,35
5-29	масло И30	2,2	14	0,5
5-30	вода	2,8	11	0,6

Задача 6



Поворотный цилиндрический затвор, имеющий в сечении вырез, закрывает прямоугольное отверстие в плотине длиной L в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, и шириной D .

Найти суммарную силу, действующую со стороны воды на затвор.

Примечание. Поскольку плоская поверхность является частным случаем криволинейной, то формулы для расчета сил, действующих на криволинейную стенку, применимы и для плоских поверхностей.

Построение тел давления и выбор знаков пояснить чертежами и схемами, а также формулами и комментариями.

№ вар.	h , м	L , м	R , м
6-1	2	4	0,5
6-2	2,5	9	0,9
6-3	3	6	1,2
6-4	3,5	3	0,7
6-5	4	10	1,5
6-6	4,5	7	1,0
6-7	5	11	1,3
6-8	5,5	5	0,6
6-9	6	6	0,3
6-10	6,5	7	0,6
6-11	7	8	1,0
6-12	7,5	9	1,1
6-13	8	10	1,2
6-14	8,5	11	1,15
6-15	9	12	1,5

№ вар.	h , м	L , м	R , м
6-16	9	12	1,1
6-17	8,5	8	0,8
6-18	8	2,5	0,55
6-19	7,5	3,5	0,75
6-20	7	4,5	1,25
6-21	6,5	5,5	0,85
6-22	6	6,5	0,6
6-23	5,5	5,0	0,5
6-24	5	6,0	0,6
6-25	4,5	9,0	0,7
6-26	4	10	0,8
6-27	3,5	12	0,9
6-28	3	8,0	1,0
6-29	2,5	6,6	1,1
6-30	2	4,5	1,2

2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

2.1. Общие указания к контрольной работе № 2

В данной контрольной работе приводятся задачи на практическое применение уравнения Бернулли для потока реальной жидкости при расчете различных гидравлических процессов. При этом студент должен усвоить и закрепить основные понятия гидродинамики.

Уравнение Бернулли (уравнение баланса удельной энергии) для потока реальной жидкости в трубопроводе или открытом канале записывается в виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w. \quad (2.1)$$

Входящая в это уравнение средняя скорость V жидкости в сечении трубопровода площадью F определяется через расход Q по формуле

$$V = \frac{Q}{F}. \quad (2.2)$$

В формуле (2.1) h_w - гидравлические потери. Они делятся на **путевые и местные**. Путевые потери h_n (м) в трубопроводе вычисляются по формуле Дарси:

$$h_n = \lambda \frac{L V^2}{d 2g}, \quad (2.3)$$

где L – длина трубопровода; d – его внутренний диаметр; $V^2/2g$ – скоростной напор, вычисленный по средней скорости; λ – безразмерный коэффициент сопротивления трения.

Местные потери h_m (м) вычисляются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_m \frac{V^2}{2g}. \quad (2.4)$$

Здесь ζ_m – безразмерный коэффициент местного сопротивления, величина которого зависит от вида местного сопротивления.

При практическом применении уравнения Бернулли следует придерживаться определенных правил.

1. Прежде всего необходимо выбрать горизонтальную плоскость для отсчета высот (плоскость сравнения). Это обычно самая нижняя плоскость гидросистемы, от которой задается какой-либо вертикальный размер.

2. Выбираются два сечения, перпендикулярные направлению движения жидкости. Сечения можно проводить в любых местах гидросистемы, в том числе и через баки.

3. Если сечение проведено через бак, то средняя скорость в этом сечении равна нулю, т. к. скорость движения жидкости в баках пренебрежимо мала.

4. Уравнение Бернулли – это обычное алгебраическое уравнение, решаемое только при наличии одного неизвестного, поэтому сечения целесообразно выбирать в таких местах гидросистемы, где какие-то параметры заданы. Тогда больше шансов, что останется только одно неизвестное. Например, при наличии бака сечение обычно берут на уровне свободной поверхности в баке.

Кроме уравнения Бернулли, в расчетах часто применяется уравнение постоянства расхода при установившемся движении для двух сечений с площадями F_1 и F_2 :

$$V_1 F_1 = V_2 F_2. \quad (2.5)$$

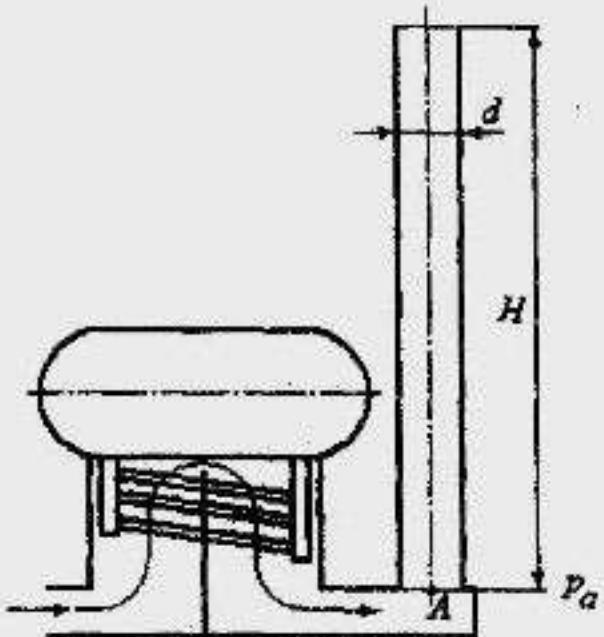
Если окажется, что из одного уравнения Бернулли определить искомую величину невозможно, то необходимо составить еще одно подобное уравнение, выбрав другую пару сечений.

При решении задачи № 1 необходимо учесть, что движение газов по трубам при малых скоростях (далеких от скорости звука) подчиняется тем же законам, что и движение несжимаемых жидкостей. Кроме того, для атмосферного воздуха справедлив основной закон гидростатики – формула (1.1) на с. 5.

При решении задачи № 4 необходимо учесть, что кавитация в потоке возникает, если давление в нем сравняется с давлением насыщенного лара при данной температуре.

2.2. Задачи к контрольной работе № 2

Задача № 1



Газообразные продукты сгорания котельной установки с массовым расходом \dot{m} движутся по трубе и выбрасываются в атмосферу.

Какова должна быть высота трубы H , чтобы в точке A поддерживалось вакуумметрическое давление $p_{\text{вак}}$?

В таблице обозначены:

ρ_b - плотность воздуха у земли;

ρ_g - плотность дымовых газов;

λ - коэффициент сопротивления трения.

Местными потерями пренебречь.

Во всех вариантах принять $\rho_b = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, $p_a = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

№ вар.	$\rho_g, \text{ кг}/\text{м}^3$	$p_{\text{вак}}, \text{ Па}$	$\dot{m}, \text{ кг}/\text{час}$	$d, \text{ м}$	λ
1-1	0,425	185	11 000	0,625	0,018
1-2	0,450	190	12 000	0,650	0,020
1-3	0,475	195	13 000	0,675	0,022
1-4	0,500	225	14 000	0,700	0,024
1-5	0,525	210	15 000	0,725	0,025
1-6	0,550	215	16 000	0,800	0,026
1-7	0,575	220	17 000	0,900	0,028
1-8	0,600	200	18 000	1,000	0,030
1-9	0,625	230	19 000	1,050	0,031
1-10	0,650	235	20 000	1,100	0,033
1-11	0,460	240	21 000	1,200	0,035
1-12	0,560	245	22 000	1,300	0,037
1-13	0,660	250	23 000	1,400	0,036
1-14	0,430	255	24 000	1,500	0,034
1-15	0,510	260	25 000	1,600	0,032

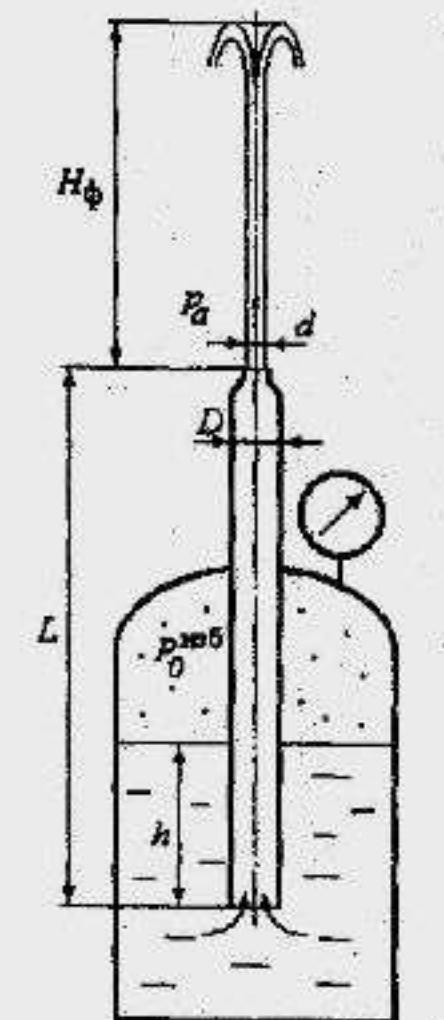
Задача № 2

Вода с плотностью $\rho = 1\ 000 \text{ кг}/\text{м}^3$ вытесняется из сосуда сжатым воздухом под избыточным давлением $p_0^{\text{изб}}$; затем она проходит по трубе с внутренним диаметром D и выбрасывается в атмосферу вертикально через отверстие диаметром d , образуя фонтан.

Учесть только путевые потери в трубе. Коэффициент сопротивления трения равен λ .

При движении струи в воздухе гидравлическими потерями пренебречь.

Величина атмосферного давления $p_a = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.



Найти:

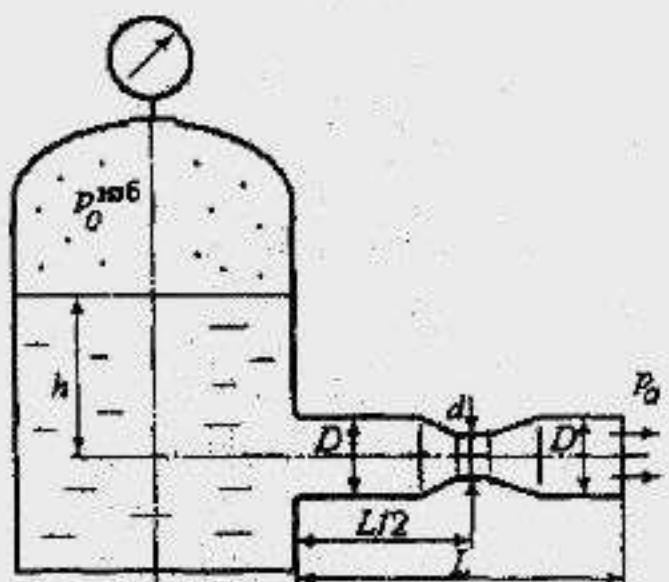
а) высоту фонтана H_f ;

б) расход вытекающей воды Q .

Расход выразить в $\text{м}^3/\text{с}$ и в $\text{л}/\text{с}$.

№ вар.	$p_0^{\text{изб}}, \text{ кПа}$	$L, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$D, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	λ
2-1	175	3,0	0,5	100	25	0,020
2-2	200	4,0	0,6	85	30	0,018
2-3	250	5,0	0,7	90	35	0,022
2-4	300	6,0	0,8	95	22	0,025
2-5	350	7,0	0,9	110	32	0,023
2-6	400	8,0	1,0	105	30	0,019
2-7	450	9,0	1,1	115	27	0,024
2-8	500	10,0	1,2	120	25	0,026
2-9	550	4,5	1,3	130	20	0,028
2-10	600	5,5	1,4	125	25	0,030
2-11	650	6,5	1,5	135	30	0,032
2-12	700	7,5	1,6	140	35	0,035
2-13	750	8,5	1,7	145	40	0,031
2-14	800	9,5	1,8	150	45	0,033
2-15	850	10,5	2,0	155	50	0,036

Задача № 3



Жидкость вытесняется из сосуда сжатым газом и вытекает через трубу сужением в атмосферу.

Найти абсолютное давление в суженном сечении d .

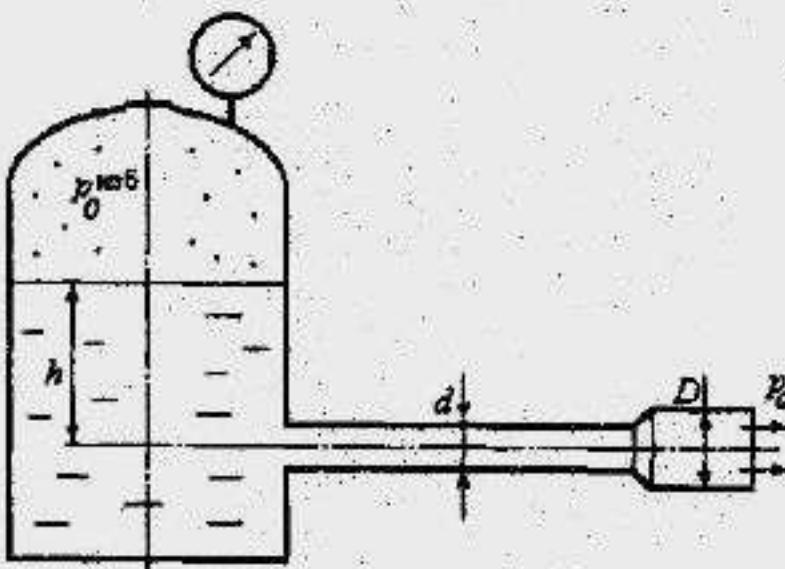
Учесть только путевые потери с коэффициентом сопротивления трения λ .

Плотность жидкости взять из условий к задаче № 4 контрольной работы № 1.

Принять $p_a = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

№ вар.	Жидкость	$p_0^{\text{изб}}$, кПа	L , м	h , м	D , мм	d , мм
3-1	вода	30	10	1,0	100	60
3-2	вода морск.	35	20	0,5	120	55
3-3	бензин	40	30	1,5	80	45
3-4	спирт	50	40	0,6	60	30
3-5	керосин	60	50	0,7	70	45
3-6	нефть	70	60	0,8	80	60
3-7	масло И30	80	70	0,9	90	50
3-8	вода	90	80	1,0	100	50
3-9	вода морск.	100	90	1,2	110	80
3-10	бензин	110	100	1,4	115	75
3-11	спирт	120	110	1,5	120	60
3-12	керосин	130	120	1,6	125	75
3-13	нефть	140	130	1,7	130	80
3-14	масло И30	150	140	1,8	135	60
3-15	вода	160	150	2,0	150	100

Задача № 4



Вода с температурой t вытесняется из бака, проходит по трубе и выбрасывается в атмосферу.

Найти диаметр d , при котором в трубе возникнет кавитация.

В таблице $p_{\text{пп}}$ - давление насыщенного пара воды при данной температуре.

Гидравлическими потерями в трубе пренебречь.

Считать режим движения турбулентным, $\alpha = 1$.

Принять $p_a = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Плотность воды при любой температуре $\rho = 1000$ кг/м³.

№ вар.	t , °C	$p_{\text{пп}}$, Па	$p_0^{\text{изб}}$, кПа	h , м	D , мм
4-1	10	1 180	200	2,0	80
4-2	15	1 757	150	0,8	60
4-3	20	2 335	300	1,0	100
4-4	25	3 287	180	0,5	75
4-5	30	4 240	160	0,6	125
4-6	35	5 800	150	0,7	140
4-7	40	7 360	140	0,8	150
4-8	50	12 320	130	0,9	65
4-9	55	16 060	120	1,0	95
4-10	60	19 800	110	1,1	85
4-11	65	25 450	100	1,2	70
4-12	70	31 100	90	1,3	90
4-13	75	39 200	180	1,5	100
4-14	80	47 300	170	2,0	110
4-15	90	70 000	250	3,0	130

3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

3.1. Общие указания к контрольной работе № 3

В данной контрольной работе приводятся задачи на расчет трубопроводов. При этом студент должен усвоить и закрепить основные понятия гидродинамики, приобрести навыки расчетов основных параметров движения жидкости в напорных трубопроводах: скоростей, расходов, напоров, давлений, гидравлических потерь и т.д.

Связь между расходом Q и средней скоростью V для потока, протекающего по трубопроводу, определяется как

$$Q = V \cdot F. \quad (3.1)$$

Здесь F – площадь поперечного сечения трубопровода.

При расчетах трубопроводов основную роль играет уравнение Бернулли:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w. \quad (3.2)$$

Здесь h_w – гидравлические потери. Они делятся на **путевые** и **местные**.

Путевые потери h_n (м) вычисляются по формуле Дарси:

$$h_n = \lambda \frac{L V^2}{d 2g}, \quad (3.3)$$

где L – длина трубопровода; d – его внутренний диаметр; $V^2/2g$ – скоростной напор, вычисленный по средней скорости; λ – безразмерный коэффициент сопротивления трения.

Местные потери h_m (м) вычисляются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_m \frac{V^2}{2g}, \text{ м.} \quad (3.4)$$

Здесь ζ_m – безразмерный коэффициент местного сопротивления, величина которого зависит от вида местного сопротивления.

При практическом применении уравнения Бернулли следует придерживаться определенных правил, изложенных в общих указаниях к контрольной работе № 2.

Режим движения жидкости в трубопроводе может быть ламинарным либо турбулентным. Наличие того или иного режима связано с численным значением критерия Рейнольдса $Re = Vd/v$ (здесь v – кинематический коэффициент вязкости): при $Re \leq 2300$ режим ламинарный, при $Re > 2300$ – турбулентный.

Знание режима течения весьма важно для определения коэффициента сопротивления трения λ , входящего в формулу Дарси.

При ламинарном режиме λ вычисляется по формуле Хагена – Пуазеля

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (3.5)$$

Как следует из формулы (3.5), λ и путевые потери не зависят от шероховатости трубы. Это объясняется тем, что при ламинарном режиме велико влияние сил вязкости. Тонкий неподвижный слой жидкости прилипает к стенке и покрывает ее неровности. Поэтому вышележащие слои, двигаясь, скользят по этому неподвижному слою, как по жидкой смазке.

При турбулентном режиме путевые потери могут как зависеть, так и не зависеть от шероховатости трубы. Кроме того, они в общем случае зависят от числа Рейнольдса.

Шероховатость характеризуется средней высотой бугорков на внутренней поверхности трубы Δ . Большую роль играет также форма бугорков, их густота и характер взаимного расположения на поверхности. Эти факторы учтены и выражены какими-либо формулами зависимостями практически невозможно. Поэтому в гидравлике вводится понятие **эквивалентной шероховатости** Δ_3 , т.е. шероховатости, приведенной к некоторому стандартному виду (с равномерно расположенными бугорками – одинаковыми зернами примерно сферической формы).

Значения эквивалентной шероховатости для различных материалов труб приводятся в гидравлических справочниках (табл. 3.1).

При турбулентном режиме у стенки имеется вязкий подслой толщиной δ . Если толщина этого подслоя $\delta > \Delta$, то выступы закрыты вязкой пленкой и в турбулентном пристенном слое жидкость, двигаясь, скользит по вязкому подслою как по жидкой смазке (по аналогии с ламинарным режимом).

Такая труба называется **гидравлически гладкой**.

В этом случае коэффициент сопротивления трения λ не зависит от шероховатости трубы и рассчитывается по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (3.6)$$

Если $\delta < \Delta$, труба называется **гидравлически шероховатой**. У такой трубы бугорки шероховатости проходят сквозь вязкий подслой и оказываются в турбулентном потоке. При этом с бугорков срываются вихри, увеличивая гидравлические потери. Коэффициент λ при этом зависит как от числа Re , так и от эквивалентной шероховатости трубы Δ_3 . Он может быть рассчитан по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (3.7)$$

Применение формул (3.6) либо (3.7) определяется следующим образом:

Если режим турбулентный, вычисляются два безразмерных коэффициента:

$$A_1 = \frac{10d}{\Delta_s}; \quad A_2 = \frac{500d}{\Delta_s}.$$

Если $2300 \leq Re \leq A_1$, труба считается гидравлически гладкой и применяется формула Блазиуса.

Если $A_1 \leq Re \leq A_2$, труба – гидравлически шероховатая и применяется формула Альтшуля.

Если $Re > A_2$, труба называется вполне шероховатой; применяется формула Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)^{0.25}. \quad (3.8)$$

Для определения местных потерь необходимо знать коэффициент местного сопротивления ζ_m и среднюю скорость V для подстановки в формулу (3.4).

Значения некоторых коэффициентов ζ_m приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Значения коэффициентов ζ_m

Материал трубы и способ изготовления	Δ_s , мм
1. Новые бесшовные стальные	0,06
2. Новые стальные сварные	0,07
3. Новые оцинкованные стальные	0,12
4. Сварные из нержавеющей стали	0,075
5. Старые стальные сварные	0,75
6. Новые алюминиевые, холоднотянутые	0,03
7. Новые чугунные	0,60

Вид местного сопротивления	ζ_m
Выход из трубы в бак	1,0
Вход из бака в трубу	0,5
Плавный поворот на 90°	0,35
Резкий поворот на 90°	1,2
Вентиль полностью откр.	3,5...6

Трубопровод называют простым, если он не имеет ответвлений. Простые трубопроводы могут быть соединены между собой так, что образуют последовательное соединение, параллельное соединение или разветвление.

Сложные трубопроводы содержат как последовательные, так параллельные участки, а также ветви разветвления. Расчет сложных трубопроводов выходит за пределы данной контрольной работы, где рассматриваются простые трубопроводы и их соединения.

3. 2. Расчет простого трубопровода постоянного сечения

Пусть имеется трубопровод с внутренним диаметром d , длиной L ; его точка входа – A с высотой z_A , точка выхода – B с высотой z_B . Известны эквивалентная

шероховатость Δ_s и коэффициенты всех местных сопротивлений ζ_m .



Рис.3.1. К расчету простого трубопровода постоянного сечения

Запишем уравнение Бернуlli (3.2) для сечений в точках A и B :

$$z_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{\alpha_A V_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{\alpha_B V_B^2}{2g} + h_w.$$

Так как площади трубы в сечениях A и B одинаковы, то $V_A = V_B = V$, $\alpha_A = \alpha_B$; следовательно, скоростные напоры можно сократить. Кроме того, распишем выражение для общих потерь h_w . Получим:

$$z_A + \frac{p_A}{\rho g} = z_B + \frac{p_B}{\rho g} + \lambda \frac{L V^2}{d 2g} + (\sum_j \zeta_{mi}) \frac{V^2}{2g}. \quad (3.9)$$

В этой формуле $H_p^A = z_A + \frac{p_A}{\rho g}$; $H_p^B = z_B + \frac{p_B}{\rho g}$ – потенциальные напоры, j – количество местных сопротивлений.

Выразим скорость V через расход по формуле $Q = VF$. Из (3.9) получим:

$$H_p^A = H_p^B + kQ^2, \quad (3.10)$$

где k – коэффициент потерь, вычисляемый по формуле:

$$k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 \cdot 2g} \quad (3.11)$$

Формула (3.10) – компактная запись уравнения Бернуlli. Ее будем использовать в дальнейших расчетах.

При расчете простого трубопровода постоянного сечения существует три типа задач. Рассмотрим каждую из них.

Тип 1. Заданы: $d, L, \Delta_s, \zeta_m, \rho, v, Q, H_p^A$. Найти H_p^B .

При таком варианте исходных данных решение задачи наиболее простое:

- Вычисляем коэффициенты A_1 и A_2 (см. разд. 3.1).
- Вычисляем среднюю скорость в трубе $V = Q/F$.
- Вычисляем число $Re = Vd/\nu$ и определяем режим течения.
- Выбираем формулу для λ и вычисляем $\lambda = f(Re, \Delta_s)$.
- Вычисляем коэффициент k по формуле (3.11).
- Из формулы (3.10) определяем $H_p^B = H_p^A - kQ^2$.

Аналогично решается задача при известном H_p^B и неизвестном H_p^A .

Численный пример (для краткости пояснения отсутствуют)

Заданы: $d = 80\text{мм} = 0,08\text{м}$; $L = 50\text{м}$; $\Delta_s = 0,1\text{мм} = 0,000 1\text{м}$; $\sum \zeta_{mi} = 12$; $Q = 3 \text{ л/с} = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$; $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $H_p^A = 20\text{м}$. Найти H_p^B .

Решение

- $F = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,08^2 / 4 = 0,005 02 \text{ м}^2$.
- $A_1 = \frac{10d}{\Delta_s} = \frac{10 \cdot 0,08}{0,000 1} = 8000$; $A_2 = \frac{500d}{\Delta_s} = \frac{500 \cdot 0,08}{0,000 1} = 400000$.
- $V = Q/F = 0,003 / 0,005 02 = 0,598 \text{ м/с}$.
- $Re = Vd/\nu = 0,598 \cdot 0,08 / 10^{-6} = 47800$. Режим течения турбулентный.
- Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.
- $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000 1}{0,08} + \frac{68}{47800} \right)^{0,25} = 0,02497 = 0,025$.
- $k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_i \right) \cdot \frac{1}{F^2 \cdot 2g} = \left(0,025 \frac{50}{0,08} + 12 \right) \cdot \frac{1}{0,005 02^2 \cdot 2 \cdot 9,8} = 55862 = 55900 \text{ с}^2/\text{м}^5$.
- $H_p^B = H_p^A - kQ^2 = 20 - 55900 \cdot 0,03^2 = 19,5 \text{ м}$.

Тип 2. Заданы: d , L , H_p^A , H_p^B , ζ_{mi} , ρ , ν . Найти Q .

При неизвестном расходе нет возможности вычислить V и Re , поэтому нельзя определить ни λ , ни k . Задача может быть решена двумя методами – численным либо графоаналитическим.

Численный метод – это метод последовательных приближений. При этом методе особенно важна точность вычислений. Поэтому вычисление всех величин (а особенно это касается λ) производится до четвертой значащей цифры).

Последовательность операций при этом следующая:

- Задаемся величиной допускаемой относительной ошибки вычисления расхода E_0 . При расчете на калькуляторе принимаем $E_0 = 0,01$ (1%).
- Вычисляем площадь сечения трубопровода $F = \pi \cdot d^2 / 4$, м^2 .
- Вычисляем коэффициенты A_1 и A_2 (см. разд. 3.1).
- Задаемся значением расхода $Q = Q_1$. В данной контрольной работе следует принимать $Q_1 = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ (1 л/с).
- Вычисляем среднюю скорость в трубе $V = Q/F$.
- Вычисляем число $Re = Vd/\nu$ и определяем режим течения.
- Выбираем формулу для λ и вычисляем $\lambda = f(Re, \Delta_s)$.
- Вычисляем коэффициент k по формуле (3.11).
- Из формулы (3.10) определяем $Q_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k}$.

10. Вычисляем относительную ошибку определения расхода $E = |(Q_2 - Q)/Q_2|$.

При каждом приближении следует брать значения Q (начальное) и Q_2 (конечное), соответствующие данному приближению (они будут для каждого приближения свои).

11. Если $E > E_0$, то $Q = Q_2$; идти к пункту 5. Иначе $Q = Q_2$ (решение задачи).

Численный пример (для краткости пояснения отсутствуют)

Заданы: $d = 60\text{мм} = 0,06\text{м}$; $L = 150\text{м}$; $\Delta_s = 0,1\text{мм} = 0,000 1\text{м}$; $\sum \zeta_{mi} = 8,5$; $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $H_p^A - H_p^B = 14 \text{ м}$. Найти Q .

- $E_0 = 0,01$.
- $F = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,06^2 / 4 = 0,002 826 \text{ м}^2$.

$$3. A_1 = \frac{10d}{\Delta_s} = \frac{10 \cdot 0,06}{0,000 1} = 6000; A_2 = \frac{500d}{\Delta_s} = \frac{500 \cdot 0,06}{0,000 1} = 300000.$$

I приближение

- $Q = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$.
- $V = Q/F = 0,001 / 0,002 826 = 0,353 9 \text{ м/с}$.

6. $Re = Vd/\nu = 0,353 9 \cdot 0,06 / 10^{-6} = 21234 = 21230$. Режим турбулентный.

7. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000 1}{0,06} + \frac{68}{21230} \right)^{0,25} = 0,029 06.$$

$$8. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 \cdot 2g} = \left(0,029 06 \frac{150}{0,06} + 8,5 \right) \frac{1}{0,002 826^2 \cdot 2 \cdot 9,8} = 518500 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$9. Q_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{14/518\ 500} = 0,005\ 196 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$10. E = |(Q_2 - Q)/Q_2| = |(0,005\ 196 - 0,001)/0,005\ 196| = 0,807\ 5 = 80,75 \%$$

11. Так как $E > E_0$, то $Q = Q_2 = 0,005\ 196 \text{ м}^3/\text{с}$; идем к пункту 5.

II приближение

$$5. V = Q/F = 0,005\ 196/0,002\ 826 = 1,839 \text{ м/с}.$$

$$6. Re = Vd/v = 1,839 \cdot 0,06/10^{-6} = 110\ 340. \text{ Режим турбулентный.}$$

7. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000\ 1}{0,06} + \frac{68}{110\ 340} \right)^{0,25} = 0,024\ 04.$$

$$8. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 \cdot 2g} = \left(0,024\ 04 \frac{150}{0,06} + 8,5 \right) \frac{1}{0,002\ 826^2 \cdot 2 \cdot 9,8} = 438\ 300 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$9. Q_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{14/438\ 300} = 0,005\ 648 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$10. E = |(Q_2 - Q)/Q_2| = |(0,005\ 648 - 0,005\ 196)/0,005\ 648| = 0,080\ 02 = 8,002 \%$$

11. Так как $E > E_0$, то $Q = Q_2 = 0,005\ 648 \text{ м}^3/\text{с}$; идем к пункту 5.

III приближение

$$5. V = Q/F = 0,005\ 648/0,002\ 826 = 1,999 \text{ м/с}.$$

$$6. Re = Vd/v = 1,999 \cdot 0,06/10^{-6} = 119\ 940. \text{ Режим турбулентный.}$$

7. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000\ 1}{0,06} + \frac{68}{119\ 940} \right)^{0,25} = 0,023\ 91.$$

$$8. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 \cdot 2g} = \left(0,023\ 91 \frac{150}{0,06} + 8,5 \right) \frac{1}{0,002\ 826^2 \cdot 2 \cdot 9,8} = 436\ 200 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$9. Q_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{14/436\ 200} = 0,005\ 657 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$10. E = |(Q_2 - Q)/Q_2| = |(0,005\ 657 - 0,005\ 648)/0,005\ 657| = 0,001\ 59 = 0,16 \%$$

11. Так как $E < E_0$, то $Q = Q_2 = 0,005\ 657 \text{ м}^3/\text{с} = 5,66 \text{ л/с}$ (решение задачи).

Графоаналитический метод – это метод характеристик.

Характеристикой трубопровода называется график зависимости $h_w = f(Q)$. Вид ее показан на рис. 3.1, б. При этом методе точность вычислений – обычная (до третьей значащей цифры).

Последовательность операций при этом следующая:

1. Вычисляем площадь трубопровода по формуле $F = \pi \cdot d^2 / 4, \text{ м}^2$.
2. Вычисляем коэффициенты A_1 и A_2 (см. разд. 3.1).
3. Вычисляем величину $H_p^A - H_p^B, \text{ м}$.
4. Составляем таблицу, где задается рядом значений расхода Q в порядке возрастания. Образец таблицы показан ниже (табл. 3.3).

Таблица 3.3

$$H_p^A - H_p^B = 52,04 \text{ м}; F = 0,007\ 85 \text{ м}^2; A_1 = 1\ 430; A_2 = 71\ 400.$$

Величина	Размерность	Расходы $Q, \text{ м}^3/\text{с}$			
		0,01	0,025	0,035	0,05
$V = Q/F$	м/с	1,27	3,18	4,46	6,37
$Re = Vd/v$	–	127 000	318 000	446 000	637 000
Режим	–	Турб.	Турб.	Турб.	Турб.
Формула для λ	–	Шифр.	Шифр.	Шифр.	Шифр.
$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25}$	–	0,017 9	0,017 9	0,017 9	0,017 9
$k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 \cdot 2g}$	с ² /м ⁵	35 400	35 400	35 400	35 400
$h_w = kQ^2$	м	3,54	22,12	43,4	88,5

Примечание. В таблице «Шифр.» означает, что применяется формула Шифринсона.

Все формулы и вычисления по заполнению всех клеток таблицы выписать под таблицей, чтобы подтвердить правильность расчетов.

Примечание. При вычислении в таблице вначале нужно полностью просчитать первый столбец. Полученную величину потерь h_w нужно сравнить с величиной $H_p^A - H_p^B$. Если h_w получилось меньше $H_p^A - H_p^B$, то следующие значения Q можно увеличивать. Если $h_w > H_p^A - H_p^B$, то последующие значения Q нужно уменьшить. Максимальное значение гидравлических потерь в таблице не должно превышать значения $H_p^A - H_p^B$ больше, чем в 1,5...2 раза.

По полученным значениям h_w строим график $h_w = f(Q)$ (рис. 3.2). График должен быть вычерчен на миллиметровой бумаге с указанием названий осей, размерностями, полной разметкой осей, как показано на рисунке.

6. Графически решаем уравнение (3.10), как показано на рисунке, и находим искомое значение расхода Q .

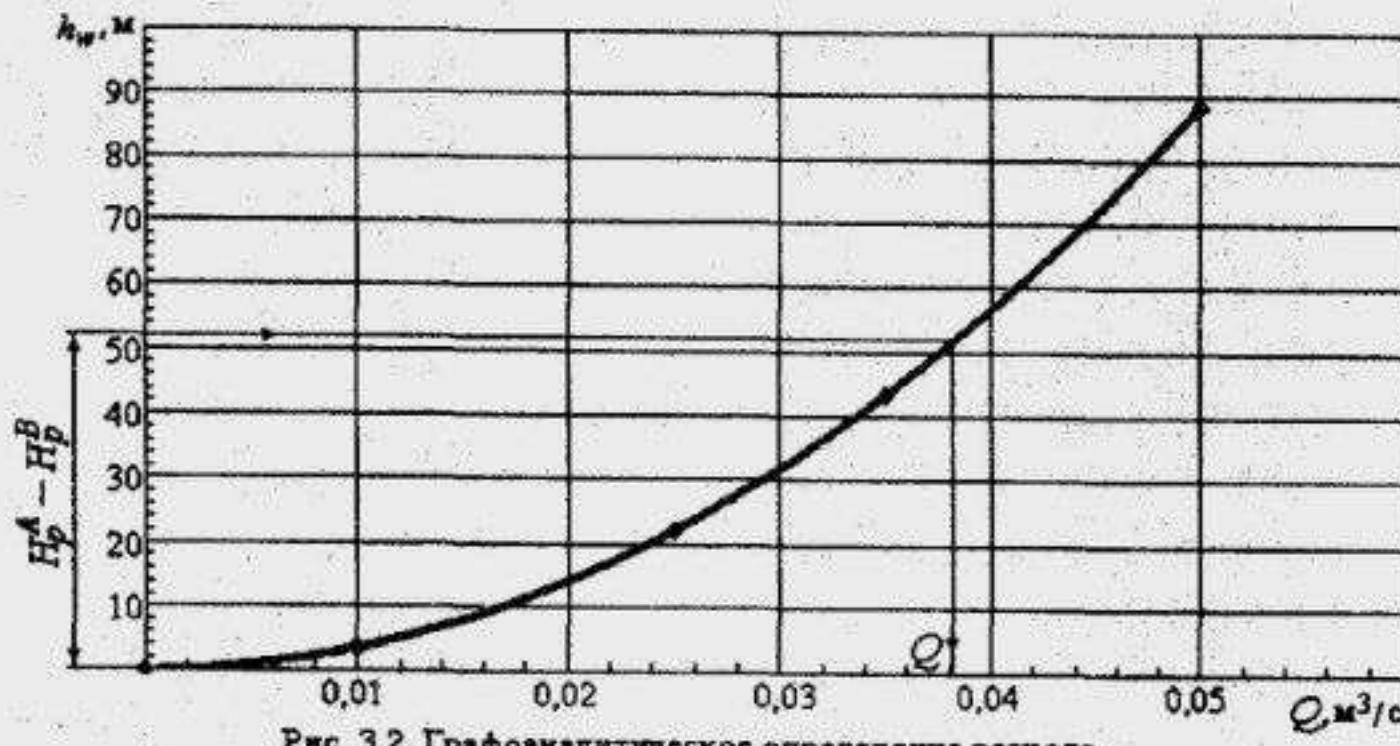


Рис. 3.2. Графоаналитическое определение расхода

Тип 3. Заданы: Q , L , Δ_3 , ζ_m , ρ , v , H_p^A , H_p^B . Найти d .

По своей неопределенности задача похожа на предыдущую – при неизвестном расходе невозможно вычислить V и Re ; поэтому нельзя определить ни λ , ни k . Задача может быть также решена двумя методами – численным либо графоаналитическим.

При решении численным методом следует несколько видоизменить компактную форму уравнения Бернулли, не выражая в нем V через Q .

Оно примет вид:

$$H_p^A = H_p^B + kV^2, \quad (3.12)$$

где

$$k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_j \right) \cdot \frac{1}{2g}. \quad (3.13)$$

При этом методе, как и при решении задачи типа 2, вычисление всех величин (особенно это касается λ) производится до четвертой значащей цифры).

Последовательность операций при этом следующая:

1. Задаемся величиной допускаемой относительной ошибки вычисления диаметра $E_0 = 0,01$ (1 %).

2. Задаемся значением диаметра $d = d_1$ (во всех вариантах контрольной работы № 3 следует принять $d_1 = 50$ мм = 0,05 м).
3. Вычисляем среднюю скорость в трубе $V = 4Q / \pi \cdot d^2$.
4. Вычисляем число $Re = Vd / v$ и определяем режим течения.
5. Вычисляем коэффициенты A_1 и A_2 (см. разд. 3.1).
6. Выбираем формулу для λ и вычисляем $\lambda = f(Re, \Delta_3)$.
7. Вычисляем коэффициент k , $\text{с}^2/\text{м}$ по формуле (3.13).
8. Из формулы (3.10) определяем $V_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k}$.
9. Находим диаметр трубопровода $d_2 = \sqrt{4Q/(\pi \cdot V_2)}$.
10. Вычисляем относительную ошибку определения диаметра $E = |(d_2 - d)/d_2|$.

При каждом приближении следует брать значения d и d_2 , соответствующие данному приближению (они будут изменяться).

11. Если $E > E_0$, то $d = d_2$; идти к п. 3.

Иначе $d = d_2$ (решение задачи).

Численный пример (для краткости пояснения отсутствуют)

Заданы: $Q = 10 \text{ л/с} = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$; $L = 100\text{м}$; $\Delta_3 = 0,05\text{мм} = 0,000 05\text{м}$; $\sum \zeta_m = 15$;

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $H_p^A - H_p^B = 20 \text{ м}$. Найти d .

1. $E_0 = 0,01$.

I приближение

2. $d = 0,05 \text{ м}$.

3. $Re = 4Q / (\pi \cdot d \cdot v) = 4 \cdot 0,01 / (3,14 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6}) = 254 800$. Режим турбулентный.

$$4. A_1 = \frac{10d}{\Delta_3} = \frac{10 \cdot 0,05}{0,000 05} = 10 000; A_2 = \frac{500d}{\Delta_3} = \frac{500 \cdot 0,05}{0,000 05} = 500 000.$$

5. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000 05}{0,05} + \frac{68}{254 800} \right)^{0,25} = 0,020 75.$$

$$6. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_j \right) \frac{1}{2g} = \left(0,020 75 \frac{100}{0,05} + 15 \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot 9,8} = 2,883 \text{ с}^2/\text{м}.$$

$$7. V_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{20/2,883} = 2,634 \text{ м/с}.$$

$$8. d_2 = \sqrt{4Q/(\pi \cdot V_2)} = \sqrt{4 \cdot 0,01 / (3,14 \cdot 2,634)} = 0,069 54 \text{ м}.$$

$$9. E = |(d_2 - d)/d_2| = |(0,069 54 - 0,05)/0,069 54| = 0,281 = 28,1 \text{ \%}.$$

10. Так как $E > E_0$, то $d = d_2 = 0,069\ 54$ м; идем к пункту 3.

II приближение

3. $Re = 4Q/(\pi \cdot d \cdot v) = 4 \cdot 0,01/(3,14 \cdot 0,069\ 54 \cdot 10^{-6}) = 183\ 200$. Режим турбулентный.

$$4. A_1 = \frac{10d}{\Delta_3} = \frac{10 \cdot 0,069\ 54}{0,000\ 05} = 13\ 910; A_2 = \frac{500d}{\Delta_3} = \frac{500 \cdot 0,069\ 54}{0,000\ 05} = 685\ 400.$$

5. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000\ 05}{0,069\ 54} + \frac{68}{183\ 200} \right)^{0,25} = 0,019\ 99.$$

$$6. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{2g} = \left(0,019\ 99 \frac{100}{0,069\ 54} + 15 \right) \frac{1}{2 \cdot 9,8} = 2,232 \text{ c}^2/\text{м}.$$

$$7. V_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{20/2,232} = 2,993 \text{ м/с.}$$

$$8. d_2 = \sqrt{4Q/(\pi \cdot V_2)} = \sqrt{4 \cdot 0,01/(3,14 \cdot 2,993)} = 0,065\ 24 \text{ м.}$$

$$9. E = |(d_2 - d)/d_2| = |(0,065\ 24 - 0,069\ 54)/0,065\ 24| = 0,065\ 91 = 6,6 \text{ %.}$$

10. Так как $E > E_0$, то $d = d_2 = 0,065\ 24$ м; идем к пункту 3.

III приближение

3. $Re = 4Q/(\pi \cdot d \cdot v) = 4 \cdot 0,01/(3,14 \cdot 0,065\ 24 \cdot 10^{-6}) = 195\ 300$. Режим турбулентный.

$$4. A_1 = \frac{10d}{\Delta_3} = \frac{10 \cdot 0,065\ 24}{0,000\ 05} = 13\ 050; A_2 = \frac{500d}{\Delta_3} = \frac{500 \cdot 0,065\ 24}{0,000\ 05} = 652\ 400.$$

5. Число Re лежит между A_1 и A_2 ; применяем формулу Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,000\ 05}{0,065\ 24} + \frac{68}{195\ 300} \right)^{0,25} = 0,020\ 10.$$

$$6. k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{2g} = \left(0,020\ 1 \frac{100}{0,065\ 24} + 15 \right) \frac{1}{2 \cdot 9,8} = 2,337 \text{ c}^2/\text{м}.$$

$$7. V_2 = \sqrt{(H_p^A - H_p^B)/k} = \sqrt{20/2,337} = 2,925 \text{ м/с.}$$

$$8. d_2 = \sqrt{4Q/(\pi \cdot V_2)} = \sqrt{4 \cdot 0,01/(3,14 \cdot 2,925)} = 0,065\ 99 \text{ м.}$$

$$9. E = |(d_2 - d)/d_2| = |(0,065\ 99 - 0,065\ 24)/0,065\ 99| = 0,011\ 36 = 1,14 \text{ %.}$$

10. Так как $E \approx E_0$, то $d = d_2 = 0,065\ 99 \approx 0,066$ м = 66 мм (решение задачи).

При решении графоаналитическим методом применяется прежняя компактная форма уравнения Бернуlli (3.10).

Последовательность операций при этом следующая:

1. Составляем таблицу, где задаёмся рядом значений диаметра d в порядке возрастания. Образец заполненной таблицы показан ниже (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Величина	Размерность	Диаметры d , м			
		0,013	0,015	0,02	0,025
$Re = \frac{4Q}{\pi \cdot d \cdot v}$	-	9 800	8 490	6 370	5 090
Режим	-	Турб.	Турб.	Турб.	Турб.
A_1	-	2 600	3 000	4 000	5 000
A_2	-	130 000	150 000	200 000	250 000
Формула для λ	-	Альтшуля	Альтшуля	Альтшуля	Альтшуля
$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$	-	0,035 4	0,035 9	0,037 3	0,038 7
$k = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum_j \zeta_{mi} \right) \frac{1}{F^2 2g}$	$\text{c}^2/\text{м}^5$	$4,53 \cdot 10^{-8}$	$2,28 \cdot 10^{-8}$	$5,83 \cdot 10^{-7}$	$2,06 \cdot 10^{-7}$
$h_w = kQ^2$	м	453	228	58,3	20,6

2. Для каждого значения диаметра вычисляем $Re = \frac{Vd}{v} = \frac{4Qd}{\pi \cdot d^2 v} = \frac{4Q}{\pi \cdot d \cdot v}$,

определяем режим, вычисляем коэффициенты A_1 и A_2 , выбираем формулу для λ и вычисляем $\lambda = f(Re, \Delta_3)$, k по формуле (3.11), гидравлические потери по формуле $h_w = kQ^2$.

При вычислениях следует руководствоваться примечаниями к графоаналитическому решению задачи типа 2 (см. с. 29). Все формулы и вычисления по заполнению всех клеток таблицы выписать под таблицей, чтобы подтвердить правильность расчетов.

3. По полученным значениям h_w строим график $h_w = f(d)$ (рис. 3.3).

4. Графически решаем уравнение (3.10), как показано на рисунке, и находим искомое значение диаметра d .

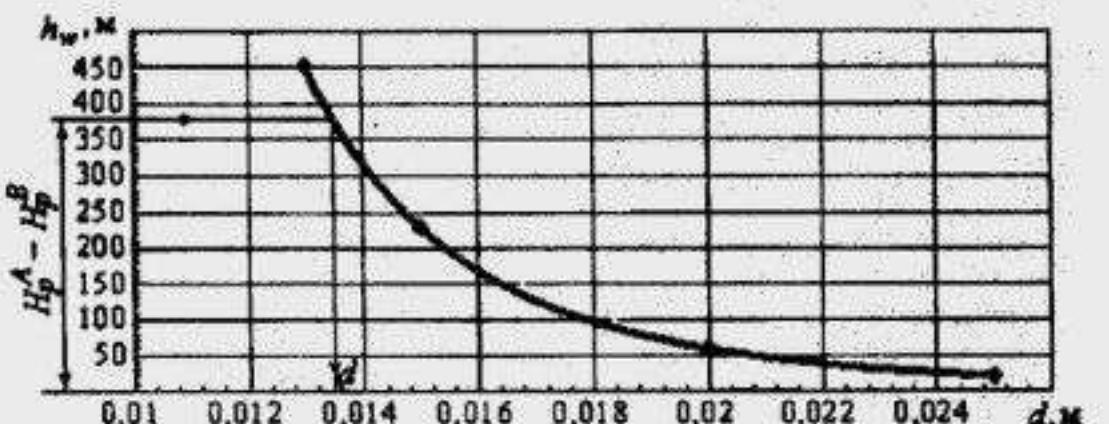


Рис. 3.3. Графоаналитическое определение диаметра трубопровода

3.3. Расчет параллельного соединения трубопроводов

Схема параллельного соединения трех трубопроводов показана на рис. 3.4, а. Точки *A* и *B* называются узловыми точками.

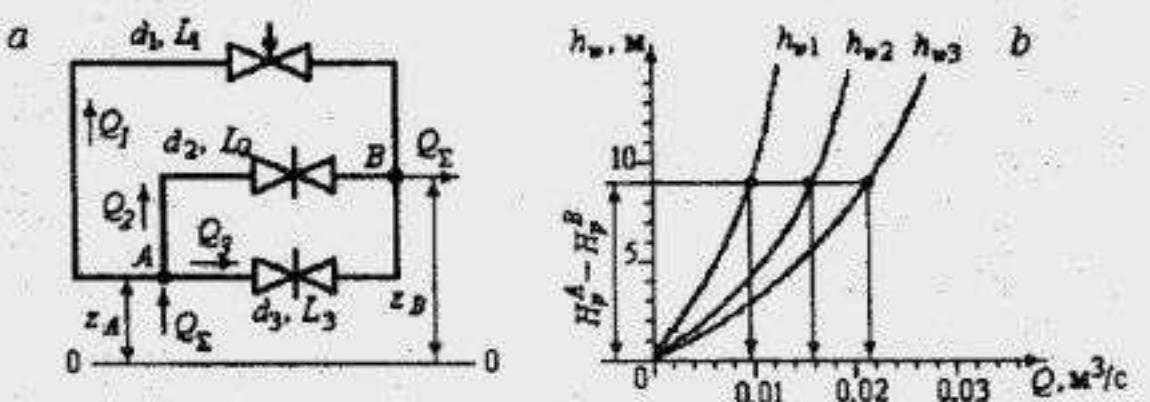


Рис. 3.4. К расчету параллельного соединения трубопроводов

Расход Q_{Σ} поступает к узловой точке *A*. Там он делится по гидролиниям на расходы Q_1, Q_2, Q_3 . В точке *B* эти расходы вновь соединяются, образуя суммарный расход Q_{Σ} .

В расчетах параллельного соединения обычно требуется при заданных размерах и других параметрах всех участков определить как суммарный расход Q_{Σ} , так и частные расходы Q_1, Q_2, Q_3 .

Запишем уравнение Бернулли в компактной форме для всех участков параллельного соединения (точки *A* и *B* считаем принадлежащими всем участкам в равной мере):

$$H_p^A = H_p^B + k_1 Q_1^2; \quad H_p^A = H_p^B + k_2 Q_2^2; \quad H_p^A = H_p^B + k_3 Q_3^2.$$

Из этих уравнений получим:

$$H_p^A - H_p^B = k_1 Q_1^2; \quad H_p^A - H_p^B = k_2 Q_2^2; \quad H_p^A - H_p^B = k_3 Q_3^2.$$

Так как левые части всех уравнений равны, приравняем правые:

$$k_1 Q_1^2 = k_2 Q_2^2 = k_3 Q_3^2. \quad (3.14)$$

Это выражение определяет главное свойство параллельного соединения: потоки жидкости и их расходы распределяются по линиям так, что гидравлические потери во всех линиях одинаковы.

К этому выражению необходимо добавить уравнение баланса расходов:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (3.15)$$

Задача может решаться либо численно (методом последовательных приближений), либо графоаналитическим методом.

Решение численным методом производится для каждого участка, как для простого трубопровода постоянного сечения (см. разд. 3.2). При этом величина $H_p^A - H_p^B$ берется для всех участков одинаковой. В результате расчета каждого участка определяется частный расход Q_n (где n – номер участка), после чего находится суммарный расход

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

При решении графоаналитическим методом составляется ряд таблиц; число таблиц равно числу участков; каждая таблица составляется как для простого трубопровода постоянного сечения (см. раздел 3.2).

В таблицах задаемся последовательно рядом расходов; в конце каждой таблицы получаем для каждого расхода соответствующее значение гидравлических потерь kQ^2 .

На общем графике в координатах $Q - h_w$ строим характеристики всех участков $h_{w1} = f(Q), h_{w2} = f(Q), h_{w3} = f(Q)$ (рис. 3.4, б).

Зная $H_p^A - H_p^B$, по графику находим расходы Q_1, Q_2, Q_3 , как показано на рис. 3.4, б. Суммарный расход Q_{Σ} определяется по формуле (3.15).

Все изложенное может быть применено при любом числе участков.

3.4. Приведение уравнений Бернулли к компактной форме для конкретных гидравлических схем

Жидкость может двигаться по трубопроводу, если она имеет напор в начале трубопровода выше, чем в его конце.

Начальный напор может быть создан:

- за счет превышения геодезической высоты начальной точки относительно конечной точки трубопровода (рис. 3.5);
- за счет создания избыточного давления в начале трубопровода сжатым газом (рис. 3.6);
- за счет установки в системе насоса между начальной и конечной точками трубопровода (рис. 3.7).

Для каждой из этих схем необходимо определить компактную форму уравнения Бернулли. Выбор плоскости сравнения 0–0 и сечений 1–1, 2–2 понятен из рисунков.

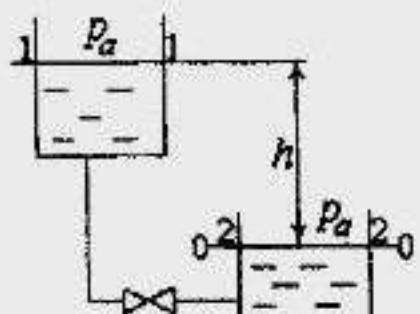


Рис. 3.5. Подача самотеком

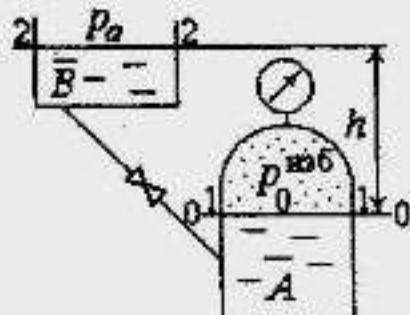


Рис. 3.6. Подача надувом

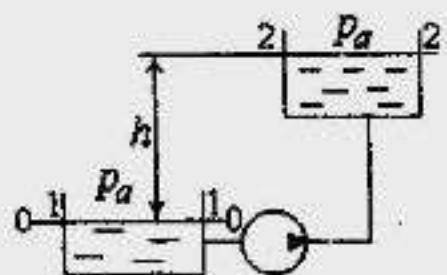


Рис. 3.7. Подача насосом

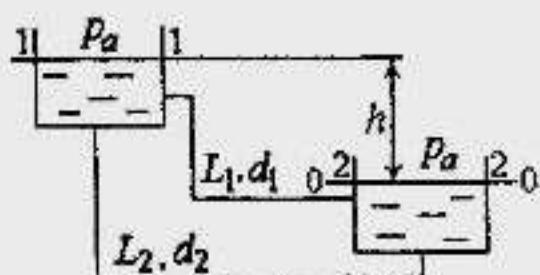


Рис. 3.8. Схема с параллельными трубопроводами

Рассмотрим схему рис. 3.5. Запишем уравнение Бернулли в общем виде:

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

Здесь $V_1 = V_2 = 0$, так как сечение проведено через баки; следовательно, скоростные напоры в уравнении исчезают.

Из схемы следует также: $z_1 = h$; $p_1 = p_2 = p_a$; $z_2 = 0$. После сокращения одинаковых слагаемых получим $h = h_w$. Сравнив это выражение с уравнением (3.10), найдем: $H_p^A = h$; $H_p^B = 0$; $H_p^A - H_p^B = h$.

Рассмотрим схему рис. 3.6. Запишем уравнение Бернулли в общем виде:

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

Здесь $V_1 = V_2 = 0$, так как сечение проведено через баки; кроме того, из схемы следует: $z_1 = 0$; $p_1 = p_0^{\text{изб}} + p_a$; $z_2 = h$; $p_2 = p_a$.

С учетом этого из уравнения Бернулли получим

$$\frac{p_0^{\text{изб}}}{\rho g} = h + h_w.$$

Сравнив это выражение с уравнением (3.10), найдем:

$$H_p^A = \frac{p_0^{\text{изб}}}{\rho g}; H_p^B = h.$$

Рассмотрим схему рис. 3.7. Для этого случая общее уравнение Бернулли не подходит, так как между сечениями 1-1 и 2-2 имеется источник дополнительной энергии – насос. Одним из основных параметров насоса является напор насоса H_n , представляющий собой энергию, сообщаемую насосом каждой единице веса проходящей через насос жидкости. Эту дополнительную энергию необходимо ввести в правую часть уравнения Бернулли, после чего оно примет вид:

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

Здесь $V_1 = V_2 = 0$, так как сечение проведено через баки; кроме того $z_1 = 0$; $p_1 = p_2 = p_a$; $z_2 = h$. После сокращения одинаковых слагаемых получим

$$H_n = h + h_w.$$

Сравнив это выражение с уравнением (3.10), найдем: $H_p^A - H_p^B = H_n - h$.

Рассмотрим схему рис. 3.8. Поскольку начальные точки обоих трубопроводов соединяются в верхнем баке, а конечные точки – в нижнем, то эта схема представляет собой параллельное соединение трубопроводов.

Течение здесь происходит самотеком, поэтому каждый из трубопроводов рассчитывается аналогично схеме рис.3.5.

Как для отдельного трубопровода, так и для участка параллельного соединения в целом можно записать:

$$H_p^A - H_p^B = h.$$

Это выражение и используется в дальнейших расчетах.

3.5. Задачи к контрольной работе № 3

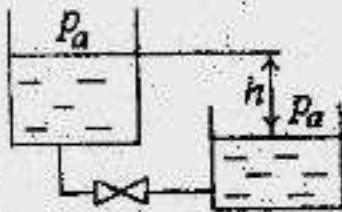
При решении всех задач придерживаться следующего порядка:

- выписать номер варианта и все исходные данные с переводом в систему СИ;
- начертить гидравлическую схему с указанием плоскости сравнения 0-0 и сечений 1-1, 2-2;
- записать уравнение Бернулли в общем виде и показать, как из него для данного расчетного случая получена его компактная форма.

При расчете местных потерь учсть потери в вентиле (если он имеется в схеме), в поворотах, на входе из бака в трубу и на выходе из трубы в бак (см. табл. 3.2 на с. 24)..

При вычислении коэффициентов A_1 и A_2 , а также при вычислении λ по формулам Альтшуля и Шифринсона обратить особое внимание, чтобы величина эквивалентной шероховатости Δ_s и диаметр трубы d были выражены в м. Несоблюдение этого – наиболее часто встречающаяся ошибка, которая может полностью перечеркнуть все последующие расчеты.

При проведении расчетов разрешается применение только расчетной методики и формул, приведенных в настоящих методических указаниях.



Задача 1

Вода при 20°C ($v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{s}$) вытекает из верхнего бака в нижний с расходом Q через трубопровод длиной L и диаметром d . Труба имеет n резких поворотов и один вентиль (ζ_v).

Найти разность уровней в баках h .
Вид трубы - см. табл. 3.1 на с. 24.

№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	Q , л/с	n	ζ_v
1-1	1	100	100	10	4	4,0
1-2	2	150	75	5	1	4,3
1-3	3	120	50	3	3	4,5
1-4	4	400	95	7,5	4	4,2
1-5	5	200	85	2	10	4,3
1-6	6	50	70	4,5	7	4,4
1-7	7	80	40	6	6	5,5
1-8	1	75	60	5,5	5	4,5
1-9	2	450	120	8	4	3,8
1-10	3	250	70	7	6	4,1
1-11	4	700	65	6,5	7	4,45
1-12	5	450	30	1,0	8	5,8
1-13	6	600	45	3,5	9	4,8
1-14	7	300	90	4	10	4,1
1-15	1	500	85	8,5	12	4,3

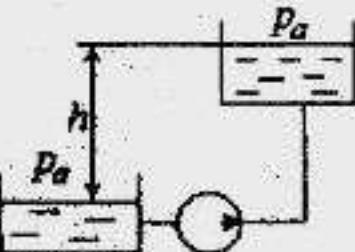
№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	Q , л/с	n	ζ_v
1-16	2	350	90	8	4	3,5
1-17	3	150	70	7	6	4,5
1-18	4	650	80	6,5	7	4,2
1-19	5	350	45	1,0	8	5,0
1-20	6	400	65	3,5	9	4,6
1-21	7	200	60	4	10	3,1
1-22	1	500	120	8,5	12	3,3
1-23	2	155	100	5,0	12	3,8
1-24	3	225	40	1,2	6	4,0
1-25	4	325	50	1,5	8	4,1
1-26	5	630	55	2,5	11	4,5
1-27	6	520	65	4,0	15	4,2
1-28	7	440	75	3,0	10	3,2
1-29	1	310	85	6,0	14	3,7
1-30	2	180	90	10,0	7	3,0

Задача 2

Найти расход Q воды ($v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{s}$), подаваемый насосом с напором H_N из нижнего бака в верхний по трубопроводу длиной L , диаметром d , имеющему n резких поворотов.

Задачу решить методом последовательных приближений. Вид трубы взять из табл. 3.1, на с. 24.

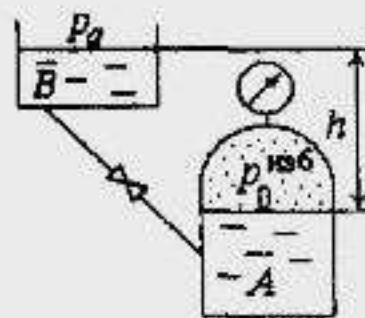
Найденный расход выразить в $\text{м}^3/\text{с}$ и л/с.



№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	h , м	H_N , м	n
2-1	1	45	25	15	30	1
2-2	2	70	45	9	54	13
2-3	3	90	60	16	47	3
2-4	4	55	70	12	41	7
2-5	5	100	30	6	38	9
2-6	6	80	85	14	32	4
2-7	3	110	75	7,5	22	14
2-8	1	65	50	8	34	10
2-9	2	60	35	11	60	16
2-10	3	85	55	5	35	5
2-11	4	120	120	13	45	2
2-12	5	150	65	18	49	15
2-13	6	50	100	7	39	12
2-14	4	95	40	17	28	6
2-15	1	75	80	12	63	8

№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	h , м	H_N , м	n
2-16	2	160	38	13	40	10
2-17	3	185	57	15	55	6
2-18	4	220	110	23	65	30
2-19	5	250	85	16	29	11
2-20	6	150	150	17	35	14
2-21	4	195	200	7	18	16
2-22	1	175	180	5	13	18
2-23	2	310	190	12	21	21
2-24	3	350	50	8	25	10
2-25	4	300	60	15	35	8
2-26	6	450	70	24	45	4
2-27	5	180	80	42	60	9
2-28	1	520	90	25	50	12
2-29	2	160	100	10	20	20
2-30	3	200	120	12	15	15

Задача 3



Найти расход Q воды ($v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), вытесняемой из бака A в бак B за счет избыточного давления $p_0^{\text{изб}}$ и протекающей по трубопроводу длиной L , диаметром d .

Принять коэффициент сопротивления вентиля равным 5. Вид трубы взять из табл. 3.1 на с. 24.

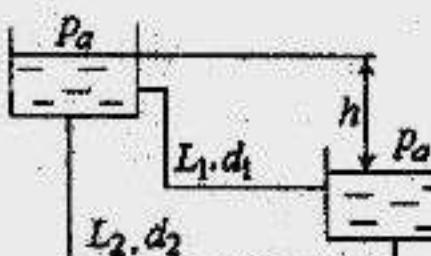
Задачу решить графоаналитическим способом.

Найденный расход выразить в $\text{м}^3/\text{с}$ и л/с.

№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	h , м	$p_0^{\text{изб}}$, МПа
3-1	1	50	20	5	0,50
3-2	5	110	40	11	0,65
3-3	2	180	28	16	0,30
3-4	6	140	65	6	0,80
3-5	3	70	90	13	0,25
3-6	5	220	24	17	0,90
3-7	4	150	75	7	0,45
3-8	3	90	35	14	0,70
3-9	5	120	30	8	0,60
3-10	1	60	50	18	0,85
3-11	6	160	70	12	0,40
3-12	2	100	22	20	1,00
3-13	5	200	120	9	0,20
3-14	3	170	100	19	0,75
3-15	4	130	60	15	0,35

№ вар.	Вид трубы	L , м	d , мм	h , м	$p_0^{\text{изб}}$, МПа
3-16	5	220	80	8	0,60
3-17	1	160	100	18	0,85
3-18	6	260	120	12	0,40
3-19	2	200	72	20	1,00
3-20	5	300	110	9	0,20
3-21	3	270	80	19	0,75
3-22	4	230	50	15	0,35
3-23	5	180	25	10	0,55
3-24	6	150	30	12	0,40
3-25	7	190	40	18	0,45
3-26	1	235	45	25	0,60
3-27	2	100	50	22	0,35
3-28	3	60	55	13	0,25
3-29	4	80	60	16	0,32
3-30	5	90	80	30	0,70

Задача 4



Найти суммарный расход, а также распределение расхода по ветвям воды ($\rho = 1\,000 \text{ кг}/\text{м}^3$, $v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), вытекающей самотеком из верхнего бака в нижний.

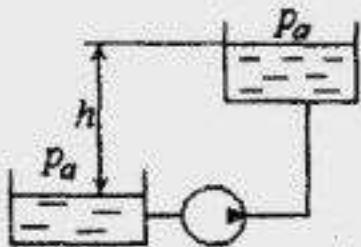
Материалы труб и число плавных поворотов ветвей одинаковы ($n_1 = n_2 = n$). Полученные значения расходов Q , Q_1 и Q_2 выразить в $\text{м}^3/\text{с}$ и в л/мин.

Вид трубы взять из табл. 3.1 на с. 24.

Задачу решить методом последовательных приближений либо графоаналитическим методом.

№ вар.	L_1 , м	d_1 , мм	L_2 , м	d_2 , мм	h , м	n	Вид труб
4-1	100	50	110	75	10	2	4
4-2	220	75	230	100	45	6	1
4-3	180	85	200	30	30	9	5
4-4	300	65	330	40	65	13	3
4-5	125	100	140	50	20	3	4
4-6	375	95	400	120	75	11	1
4-7	400	55	450	80	85	15	2
4-8	250	35	300	55	50	8	5
4-9	350	110	375	40	35	10	6
4-10	420	70	430	35	55	4	1
4-11	150	48	160	65	15	14	2
4-12	280	80	300	125	80	12	7
4-13	450	32	425	55	60	5	3
4-14	170	60	185	90	40	16	7
4-15	380	85	400	42	25	7	6
4-16	200	90	250	70	30	20	2
4-17	180	45	200	65	15	15	1
4-18	250	55	220	70	32	20	2
4-19	120	65	160	80	12	12	3
4-20	85	75	110	50	25	14	4
4-21	95	35	135	50	35	7	5
4-22	70	80	85	60	50	9	6
4-23	175	42	225	70	42	11	7
4-24	160	32	130	45	48	18	1
4-25	280	70	310	100	22	16	2
4-26	190	57	250	85	48	10	3
4-27	110	85	210	50	19	8	4
4-28	65	100	100	45	14	13	5
4-29	80	90	60	110	36	9	6
4-30	100	45	150	150	52	7	7

Задача 5



Найти внутренний диаметр трубопровода d , необходимый для обеспечения расхода Q воды ($\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), перекачиваемой насосом с напором H_n из нижнего бака в верхний по трубопроводу длиной L , имеющему n резких поворотов.

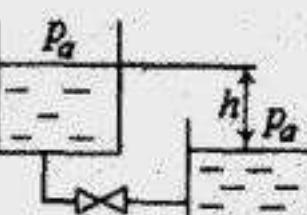
Задачу решить методом последовательных приближений. Вид трубы взять из табл. 3.1 на с. 24.

Найденный диаметр выразить в м и мм.

№ вар.	Вид тр.	$L, \text{м}$	$Q, \text{л}/\text{с}$	$h, \text{м}$	$H_n, \text{м}$	n
5-1	1	65	2,5	15	30	1
5-2	2	90	4,5	9	54	13
5-3	3	110	6,0	16	47	3
5-4	4	75	7,0	12	41	7
5-5	5	120	3,0	6	38	9
5-6	6	80	8,5	14	32	4
5-7	3	130	7,5	7,5	22	14
5-8	1	85	5,0	8	34	10
5-9	2	80	3,5	11	60	16
5-10	3	95	5,5	5	35	5
5-11	4	140	1,2	13	45	2
5-12	5	170	6,5	18	49	15
5-13	6	70	10,0	7	39	12
5-14	4	35	4,0	17	28	6
5-15	1	95	8,0	12	63	8

№ вар.	Вид тр.	$L, \text{м}$	$Q, \text{л}/\text{с}$	$h, \text{м}$	$H_n, \text{м}$	n
5-16	2	180	3,8	13	40	10
5-17	3	195	5,7	15	55	6
5-18	4	240	1,1	23	65	30
5-19	5	270	8,5	16	29	11
5-20	6	170	15,0	17	35	14
5-21	4	155	2,0	7	18	16
5-22	1	195	1,8	5	13	18
5-23	2	330	1,9	12	21	21
5-24	3	370	5,0	8	25	10
5-25	4	320	6,0	15	35	8
5-26	6	470	7,0	24	45	4
5-27	5	200	8,0	42	60	9
5-28	1	550	9,0	25	50	12
5-29	2	180	10,0	10	20	20
5-30	3	220	1,2	12	15	15

Задача 6



Вода при 20°C ($\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) вытекает из верхнего бака в нижний через трубопровод длиной L , имеющий n резких поворотов и один вентиль (ζ_v), с расходом Q . Разность уровней в баках равна h .

Найти необходимый для пропускания такого расхода внутренний диаметр трубопровода d .

Вид трубы – см. табл. 3.1 на с. 24.

Задачу решить графоаналитическим методом. Полученное значение d выразить в м и мм.

№ вар.	Вид трубы	$L, \text{м}$	$h, \text{м}$	$Q, \text{л}/\text{с}$	n	ζ_v
6-1	1	20	10	9	6	4,0
6-2	2	25	7,5	4	3	4,3
6-3	3	72	5,0	2	5	4,5
6-4	4	80	9,5	6,5	6	4,2
6-5	5	200	8,5	1	12	4,3
6-6	6	550	7,0	3,5	9	4,4
6-7	7	300	40	5	8	5,5
6-8	1	185	60	4,5	6	4,5
6-9	2	145	12	7	6	3,8
6-10	3	125	7,0	6	8	4,1
6-11	4	170	65	5,5	9	4,45
6-12	5	145	30	4,0	10	5,8
6-13	6	160	45	2,5	11	4,8
6-14	7	130	9,0	3	12	4,1
6-15	1	150	8,5	7,5	14	4,3

№ вар.	Вид трубы	$L, \text{м}$	$h, \text{м}$	$Q, \text{л}/\text{с}$	n	ζ_v
6-16	2	250	9,0	11	9	3,5
6-17	3	50	7,0	10	11	4,5
6-18	4	550	8,0	9,5	12	4,2
6-19	5	250	14	4,0	13	5,0
6-20	6	300	6,5	6,5	8	4,6
6-21	7	100	10	7	9	3,1
6-22	1	400	12	11,5	11	3,3
6-23	2	55	11	8,0	10	3,8
6-24	3	125	42	4,2	5	4,0
6-25	4	225	55	4,5	7	4,1
6-26	5	530	50	5,5	10	4,5
6-27	6	420	35	7,0	14	4,2
6-28	7	340	45	6,0	6	3,2
6-29	1	210	65	9,0	11	3,7
6-30	2	80	70	13,0	12	3,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М. : Стройиздат, 1987. – 414 с.
- Большаков, В. А. Гидравлика. Общий курс / В. А. Большаков, В. Н. Попов. – Киев: Выща школа, 1989. – 215 с.
- Шейнман, Л. Е. Гидравлика (курс лекций) : учеб.-метод. пособие для специальности 290700. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004. – 84 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1.....	5
1.1. Указания к контрольной работе № 1.....	5
1.2. Задачи к контрольной работе № 1.....	10
2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2.....	16
2.1. Общие указания к контрольной работе № 2.....	16
2.2. Задачи к контрольной работе № 2.....	18
3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3.....	23
3.1. Общие указания к контрольной работе № 3.....	23
3.2. Расчет простого трубопровода постоянного сечения.....	26
3.3. Расчет параллельного соединения трубопроводов.....	35
3.4. Приведение уравнений Бернулли к компактной форме для конкретных гидравлических схем.....	36
3.5. Задачи к контрольной работе № 3.....	38
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	44

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГИДРАВЛИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ НАПРАВЛЕНИЯ 653500 «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Учебно-методическое пособие

2-е издание

Составитель Шейнман Леонид Ефимович

Подписано в печать 07.06.2007. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,2
Тираж 100 экз. Заказ № 32

Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ
Издательство и типография Ижевского государственного
технического университета. 426069, Ижевск, ул. Студенческая, 7