



Министерство образования  
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

---

**Кафедра «Гидравлика»**

## **МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

**Методические указания,  
контрольные задачи и задания к курсовой  
и расчетно-графическим работам  
для студентов строительных специальностей**

**Минск  
БНТУ  
2010**

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Гидравлика»

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Методические указания,  
контрольные задачи и задания к курсовой  
и расчетно-графическим работам  
для студентов строительных специальностей

Минск  
БНТУ  
2010

УДК  
ББК  
М

Составители:

И.М. Шаталов, В.В. Кулебякин,  
А.Н. Кондратович, М.М. Михновец

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Сопротивление материалов машиностроительного профиля»  
БНТУ *А.А. Хмелев*  
ст. науч. сотр. ИТМО им. А.В.Лыкова НАН Беларуси,  
канд. техн. наук *В.А. Кузьмин*

Методические указания по механике жидкости и газа составлены студентами дневного и заочного обучения, строительных специальностей. В основу издания положены материалы методических указаний по гидравлике (автор Н.Ф. Гульков и др.) Горецкой сельскохозяйственной академии, сборников задач по гидравлике под редакцией В.А. Большакова, А.Д. Альтшуля, А.И. Богомолова, И.И. Нуколевского и Л.Г. Подвидза, П.Г. Киселева, Н.М. Константинова, Б.Б. Некрасова и др.

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по механике жидкости и газа составлены по одноименному курсу и рассчитаны на студентов дневного и заочного обучения, обучающихся по специальностям строительного профиля. В основу предлагаемых методических указаний положены материалы методических указаний по гидравлике (автор Н.Ф. Гульков и др.) Горьковской сельскохозяйственной академии, сборников задач по гидравлике под редакцией В.А. Большакова, А.Д. Альтшуля, А.И. Богомолова, И.И. Нуколевского и Л.Г. Подвидза, П.Г. Киселева, Н.М. Константинова, Б.Б. Некрасова и др.

Методические указания содержат контрольные задания, которые состоят из задач, разделенных на 9 основных разделов. Номера вариантов заданий выдаются по усмотрению преподавателя и охватывают все разделы рассматриваемого курса.

При изучении курса «Механика жидкости и газа» рекомендуется следующая последовательность: а) изучить основное содержание каждого раздела; б) разобрать решение типовых задач по каждому разделу; в) ответить на общие и контрольные вопросы по вариантам.

Задание выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД на стандартных листах писчей бумаги формата А4 (210x297) с текстом на одной стороне, имеющей поля для замечаний преподавателя. Оно должно иметь титульный лист установленного образца. Текст и расчетную часть следует писать чернилами, схемы и чертежи выполнять в карандаше на миллиметровке. Возможен компьютерный вариант оформления. Условия каждой задачи и исходные данные записываются по выданному варианту без сокращения, затем следует подробное решение ее.

Буквенные обозначения, входящие в расчетные формулы, должны быть один раз пояснены. Числовые значения подставляются в формулу в последовательности ее написания. Аналитические и эмпирические формулы, различные справочные величины, применяемые в расчетах, должны сопровождаться ссылками (однократно) на литературные источники, из которых они взяты.

Расчеты необходимо выполнить в Международной системе единиц измерений. При подстановке величин в формулы нужно следить за соблюдением размерностей. Единицы измерения употребля-

емых и получаемых в расчетах физических величин должны быть обязательно указаны.

При необходимости выполнения большого количества однотипных расчетов в пояснительной записке показывается в полном объеме только один пример расчета; результаты остальных сводятся в таблицу. В тексте нужно дать пояснения к составлению таблицы и выводы по полученным результатам.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

При приеме задания преподаватель проверяет не только правильность выполнения расчетов, но и качество знаний студента по проработанным темам.

При оформлении задания выполнение требований ГОСТ обязательны.

## 1. АБСОЛЮТНОЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ

Состояние жидкости в гидравлике характеризуется двумя основными характеристиками: давлением и скоростью. В условиях равновесия остается только гидростатическое давление – напряжение сжатия. Давление характеризуется двумя свойствами: 1) вектор давления (и силы давления) действует только по внутренней нормали к смоченной поверхности; 2) давление в данной точке жидкости по всем направлениям одинаково. Оба базируются на втором свойстве жидкости о ее текучести, невозможности появления в покоящейся жидкости касательных и растягивающих напряжений. Эти свойства давления очень важны. Они являются ключом к пониманию формул силового воздействия жидкости на различные тела.

Следует разобраться в трех системах отсчета давления, широко используемых в большинстве разделов гидравлики. Абсолютное давление – давление, отсчитываемое от абсолютного нуля. Избыточное (манометрическое) давление – сверх атмосферного. Разница нулей этих систем – атмосферное давление, т.е. одна атмосфера. Вакуумметрическое давление – недостаток давления до атмосферного. В выводах и практических расчетах часто приходится переводить давление из одной системы в другую. Нечеткое понимание взаимосвязи систем давления осложняет освоение последующего материала. Наиболее употребляемая единица давления – паскаль, соответствующая напряжению сжатия  $1 \text{ Н/м}^2$ .

Изучая способы и приборы для измерения гидростатического давления, выяснить, что представляют собой пьезометр и простейший вакуумметр, в каких случаях пользуются для измерения давления манометрами, каких типов они бывают. Для изучения темы рекомендуется следующая литература: [1, с. 22 – 25; 29 – 30; 2, с. 16 – 26; 3, с. 6 – 16; 4, с. 9 – 14].

### Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схемах 1.1 – 1.13 и в табл. 1.1, 1.2.

1.1. Закрытый резервуар с водой (схема 1.1) снабжен открытым и закрытым пьезометрами. Определить приведенную пьезометрическую высоту  $h_x$  поднятия воды в закрытом пьезометре (соответ-

ствующую абсолютному гидростатическому давлению в точке А), если показание открытого пьезометра  $h$  при нормальном атмосферном давлении  $p_{\text{ат}}$ , а расстояния от свободной поверхности жидкости в резервуаре до точек А и В равны соответственно  $h_1$  и  $h_2$ .

1.2. Закрытый резервуар (схема 1.1) заполнен бензином. Определить показания манометра  $p_m$ , если показания открытого пьезометра  $h$  при нормальном атмосферном давлении  $p_{\text{ат}}$ , а глубина погружения точки А равна  $h_1$ .

1.3. Определить абсолютное гидростатическое давление в точке А закрытого резервуара (схема 1.2), заполненного водой, если при нормальном атмосферном давлении  $p_{\text{ат}}$  высота столба ртути в трубке дифманометра  $h$ , а линия раздела между ртутью и водой расположена ниже точки В на величину  $h_1$ , точка В – выше точки А на величину  $h_2$ .

1.4. Закрытый резервуар с керосином (схема 1.2) снабжен закрытым пьезометром, дифференциальным ртутным и механическим манометрами. Определить высоту поднятия ртути  $h$  в дифференциальном манометре и пьезометрическую высоту  $h_x$  в закрытом пьезометре, если показания манометра  $P_m$ , а расстояния между точками соответственно равны  $h_1, h_2, h_3 = 0,5h_2$ .

1.5. Закрытый резервуар (схема 1.3) снабжен дифманометром, установленным в точке В, и закрытым пьезометром. Определить приведенную пьезометрическую высоту  $h_x$  поднятия пресной воды в закрытом пьезометре (соответствующую абсолютному гидростатическому давлению в точке А), если при нормальном атмосферном давлении  $p_{\text{ат}}$  высота столба ртути в трубке дифференциального манометра  $h$ , а точка А расположена на глубине  $h_1$  от свободной поверхности.

Варианты схем и исходных данных к задачам по теме «Абсолютное и относительное равновесие жидкости»

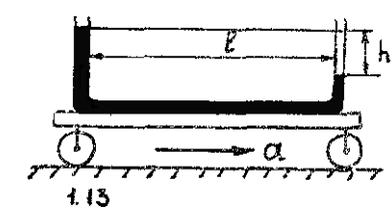
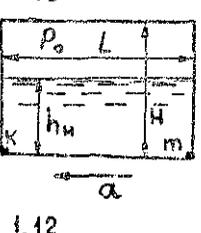
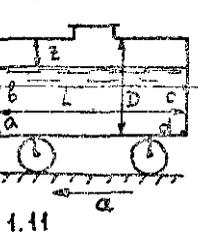
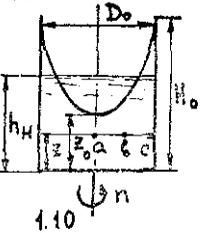
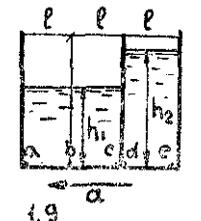
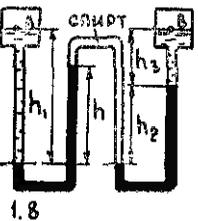
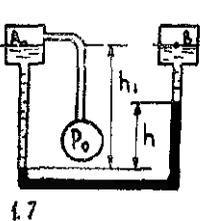
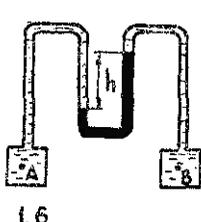
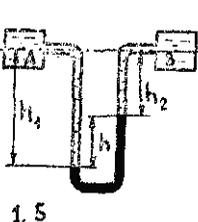
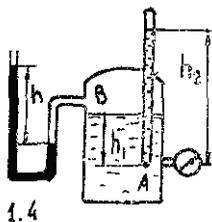
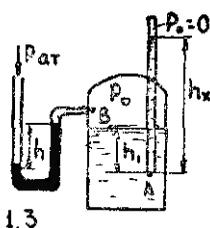
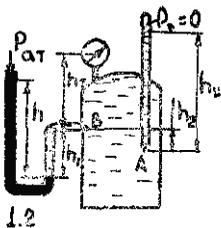
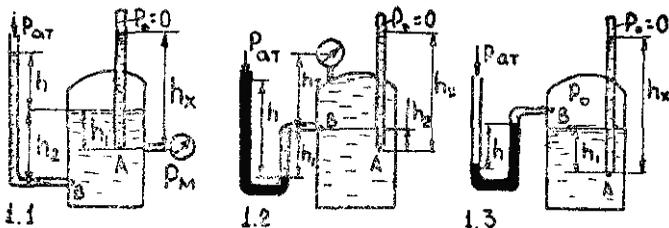


Таблица 1.1 – Исходные данные к решению задач 1.1 – 1.16

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Высота, м:						
$h_1$	0,5	0,38	0,25	0,4	0,31	0,5
$h_2$	1,5	0,60	0,70	0,8	0,20	1,0
$h_3$	1,0	0,22	0,40	0,6	0,35	0,4
Давление, кПа:						
$\rho_{ат}$	-	98,1	-	-	-	-
$\rho_{м}$	110	160	175	180	135	200
$\rho_{в}$	160	150	110	200	180	175

Пр и м е ч а н и е. Плотность (кг/м<sup>3</sup>) жидкостей для всех вариантов задач принимается по приведенным ниже данным: спирт – 790; вода – 1000; бензин – 680 – 740; керосин – 790 – 820; нефть – 700 – 900; ртуть – 13600.

Таблица 1.2 – Исходные данные к решению задач 1.17 – 1.25

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Высота, м						
$h_1$	1	0,8	0,6	1,2	1,5	0,9
$h_2$	1,75	1,5	1,0	1,4	2,0	1,2
$H_0$	1,2	0,9	1,0	0,5	0,6	1,0
$h_{н}$	0,5	0,6	0,6	0,3	0,4	0,7
$h$	0,8	0,2	0,3	1,0	0,6	0,5
$z$	0,2	0,1	0,1	0,0	0,05	0,1
Диаметр, м						
$D_0$	0,6	0,5	0,45	0,3	0,25	0,5
$D$	1,5	2,0	1,7	2,5	1,8	2,1
Длина $L$ , м	5,0	6,0	5,5	6,0	4,0'	4,6
Ускорение $a$ , м/с <sup>2</sup>	2,0	1,4	0,8	2,3	1,0	3,2
Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	90	110	132	86	158	101
Давление $p_0$ ,	110	130	94	156	118	81

1.6. Показание ртутного дифманометра, подключенного к резервуару в точке В равно  $h$  (схема 1.3). Определить величину абсолютного давления  $p_0$  на свободной поверхности воды в резервуаре и манометрическое давление в точке А, если глубина погружения ее  $h_1$ .

1.7. Определить при нормальном атмосферном давлении  $p_{ат}$  высоту поднятия ртути в дифференциальном манометре, подсоединенном к закрытому резервуару в точке В (схема 1.4), частично заполненному нефтью, если глубина погружения точки А от свободной поверхности резервуара  $h_1$ , приведенная пьезометрическая высота поднятия воды в закрытом пьезометре  $h_2$ .

1.8. В закрытом резервуаре (схема 1.4) налита вода. Определить высоту, поднятия ртути в дифманометре  $h$  и воды в закрытом пьезометре  $h_2$ , если показание манометра, подключенного на уровне точки А, равно  $p_m$ . Атмосферное давление  $p_{ат}$  считать нормальным, глубина погружения точки А равна  $h_1$ .

1.9. К двум резервуарам А и В, заполненным водой, присоединен дифференциальный ртутный манометр (схема 1.5). Составить уравнение равновесия относительно плоскости равного давления и определить разность давлений в резервуарах А и В, если расстояния от оси резервуаров до мениска ртути равны  $h_1$  и  $h_2$ .

1.10. Определить величину манометрического давления в резервуаре А (схема 1.5), если показание ртутного дифманометра  $h$ , расстояние от оси резервуара А до мениска ртути  $h_1$ , абсолютное давление в резервуаре В равно  $p_b$ . В обоих резервуарах находится вода.

1.11. Дифференциальный ртутный манометр подключен к двум закрытым резервуарам с бензином (схема 1.6), абсолютное давление в резервуаре В равно  $p_b$ . Определить величину абсолютного и манометрического давления в резервуаре А, составив уравнение равновесия относительно плоскости равного давления, если разность показаний ртутного дифманометра равна  $h$ .

1.12. К двум резервуарам А и В (схема 1.6), заполненным нефтью, присоединен дифференциальный ртутный манометр. Определить разность давлений в точках А и В, составив уравнение равновесия относительно плоскости равного давления. Разность показаний дифманометра  $h$ .

1.13. Резервуары А и В (схема 1.7) частично заполнены водой разной плотности (соответственно  $\rho_a = 998 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_b = 1029 \text{ кг/м}^3$ ) и газом, причем к резервуару А подключен баллон с газом. Высота

столба ртути в трубке дифманометра  $h$ , а расстояние от оси резервуаров до мениска ртути равно  $h_1$ . Какое необходимо создать манометрическое давление  $p_0$  в баллоне, чтобы получить абсолютное давление  $p_B$  на свободной поверхности в резервуаре В?

1.14. К двум резервуарам А и В (схема 1.7), частично заполненным керосином и газом, подключен дифманометр. Определить разность уровней ртути в дифманометре  $h$ , если абсолютное давление в резервуаре В равно  $p_B$ , манометрическое давление в баллоне с газом  $p_0 = 0,3p_B$ , расстояние от оси резервуаров до мениска ртути равно  $h_1$ .

1.15. Резервуары А и В (схема 1.8) частично заполнены пресной водой и газом. Определить избыточное давление газа на поверхности воды закрытого резервуара А, если абсолютное давление на поверхности воды в закрытом резервуаре В равно  $p_B$ , разность уровней ртути в двухколенном дифманометре  $h$ , мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на величину  $h_1$ , в правой трубке —  $h_3 = 0,25h_1$ , высота подъема ртути в правой трубке манометра  $h_2$ . Пространство между уровнями ртути в манометре заполнено этиловым спиртом.

1.16. Определить разность давлений воздуха  $\Delta p$  на поверхностях нефти в резервуарах А и В (схема 1.8), если разность уровней ртути в двухколенном дифманометре  $h$ , мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня нефти на величину  $h_1$ , в правой трубке —  $h_3 = 0,5h_1$ , высота подъема ртути в правой трубке манометра  $h_2$ . Пространство между уровнями ртути в манометре заполнено этиловым спиртом.

1.17. Призматический сосуд (схема 1.9) длиной  $3l = 3$  м и шириной  $b = 1$  м разделен плоской перегородкой на два отсека, заполненные водой до высот  $h_1$  и  $h_2$ . Определить величину абсолютного давления в точках а, б, с, д, е, лежащих на дне сосуда, при горизонтальном перемещении его влево с постоянным ускорением  $a$ .

1.18. При условии задачи 1.17 (схема 1.9) определить, с каким ускорением  $a$  необходимо перемещать призматический сосуд, чтобы манометрические давления в точках с и д были равны.

1.19. В цилиндрический сосуд (схема 1.10) диаметром  $D_0$  и высотой  $H_0$  налита вода с начальным уровнем  $h_n$ . Определить: 1) будет ли выплескиваться вода, если сосуд будет вращаться с постоянной частотой вращения  $n$ ? 2) На каком расстоянии  $z_0$  от дна будет находиться самая низшая точка свободной поверхности? 3) С какой частотой нужно вращать сосуд, чтобы вода поднялась до краев сосуда?

1.20. Цилиндрический сосуд (схема 1.10) диаметром  $D_0$  и высотой  $H_0$  заполнен нефтью с начальным уровнем  $h_n$  и вращается с постоянной частотой  $\Omega$  вокруг вертикальной оси. Определить: 1) полное гидростатическое давление в точках а, б, с, лежащих на окружностях с радиусами  $r_a = 0$ ,  $r_b = \frac{D_0}{4}$ ,  $r_c = \frac{D_0}{2}$  и отстоящих на величину  $z$  от дна сосуда; 2) какой минимальной высоты должен быть сосуд, чтобы жидкость не выплескивалась?

1.21. Цистерна (схема 1.11) диаметром  $D$  и длиной  $L$ , наполненная нефтью до высоты  $z$ , движется горизонтально с постоянным ускорением  $a$ . Определить величину манометрического давления в точках а, б, с, d плоских торцевых стенок цистерны.

1.22. Цистерна (схема 1.11) диаметром  $D$  и длиной  $L$ , наполненная бензином наполовину, движется влево равнозамедленно. Определить: 1) каким должно быть ускорение  $a$ , чтобы манометрическое давление в точке d было равно нулю? 2) Величину манометрического давления в точках а и б при полученном ускорении.

1.23. Закрытый призматический сосуд (схема 1.12) размерами  $L \times H \times C = 3 \times 1 \times 1$  м заполнен водой до высоты  $h_n$ , над уровнем которой имеется избыточное давление газа  $p_0$ . Сосуд движется горизонтально с постоянным ускорением  $a$ . Определить: 1) величину абсолютного давления в точках К и М; 2) как изменится давление в этих точках, если ускорение будет равно  $2a$ ?

1.24. Для измерения ускорения горизонтально движущегося тела может быть использована закрепленная на нем U-образная трубка малого диаметра, наполненная жидкостью (схема 1.13). С каким ускорением  $a$  движется тело, если при движении установилась разность уровней жидкости в ветвях трубки, равная  $h$ , при расстоянии между ними  $l = 4h$ .

1.25. Найти частоту вращения цилиндрического сосуда высотой  $H_0$  и диаметром  $D_0$  (схема 1.10), наполненного керосином до высоты  $h_1 = \frac{2}{3} H_0$ , при которой самая низшая точка свободной поверхности коснется дна сосуда. Какой объем керосина при этом выплеснется?

## 2. СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКИЕ, ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Если покоящаяся жидкость находится в поле одной силы тяжести, то ее напряженное состояние и взаимодействие с омываемыми ею телами определяется основным уравнением гидростатики. Давление представляет распределенную по поверхности нагрузку. Графически оно изображается эпюрой давления. Ординаты эпюр определяются по основному уравнению гидростатики, а направление их, согласно свойству давления, нормально к смоченной поверхности. Следовательно, ординаты эпюр давления жидкости на плоские поверхности параллельны. Их легко суммировать. Площадь (объем) эпюры дает силу давления жидкости на плоскую поверхность. А центр тяжести эпюры – точка приложения этой силы.

Теоретический анализ приводит в этом случае к очень простой зависимости для определения силы давления жидкости на плоскую поверхность. Она равна давлению в центре тяжести смоченной поверхности, умноженному на всю смоченную площадь. Точка приложения силы давления на плоскую поверхность определяется тоже специальной формулой [1, с. 35 – 52]. Формулы для нахождения площадей, центров тяжести и центральных моментов инерции для различных форм плоских поверхностей приводятся в [3, с. 20 – 21; 5, с. 28 – 30].

После теоретического изучения этого вопроса необходимо проанализировать приведенные в [2, с. 27 – 33; 3, с. 22 – 26; 4, с. 15 – 22] решения задач. При этом следует обратить внимание на условия применения аналитического, графоаналитического и графического способов для определения величин силы давления и точки ее приложения и научиться применять эти способы для решения задач.

### Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схемах 2.1 – 2.23 и в табл. 2.1.

2.1. Вертикальный щит АВ, перегораживающий прямоугольный канал шириной  $b$ , крепится в пазах (схема 2.1). Определить силу давления и точку ее приложения, а также усилие  $T$ , необходимое

для поднятия щита, если его масса  $M$ , коэффициент трения щита в пазах  $f$  при глубинах перед щитом  $h_1$  и за щитом  $h_2$ .

2.2. Прямоугольный щит АВ шириной  $b$  закреплен шарнирно в точке А (схема 2.2). Определить начальное подъемное усилие  $T$ , необходимое для подъема щита, если его масса  $M$ , а глубина воды перед щитом  $h_1$  и за щитом  $h_2$ . Угол наклона щита к горизонту  $\alpha$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.3. Определить натяжение троса  $T$ , удерживающего прямоугольный щит АВ (схема 2.3) под углом наклона к горизонту  $\alpha$ , если ширина щита  $b$ , его масса  $M$ , а глубины воды перед щитом  $h_1$  и за щитом  $h_2$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.4. На какой глубине  $h$  должна находиться опора 0 щита АВ (схема 2.4), чтобы при глубине воды перед щитом  $h_1$  он открывался автоматически; если глубина за щитом  $h_2$  и угол наклона щита к горизонту  $\alpha$  будут постоянны. Ширина щита  $b$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

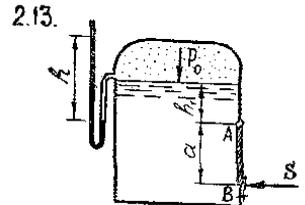
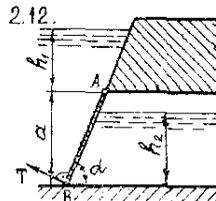
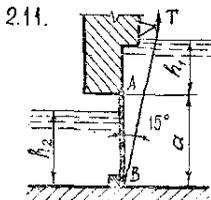
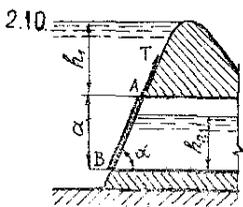
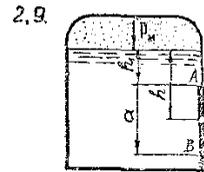
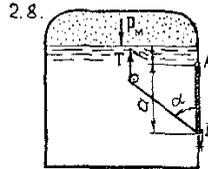
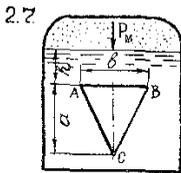
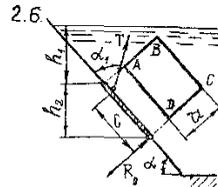
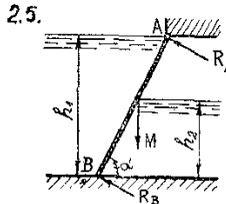
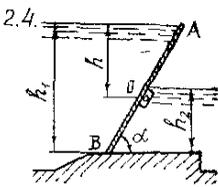
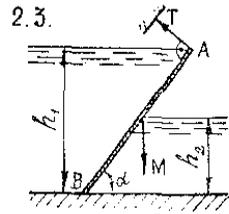
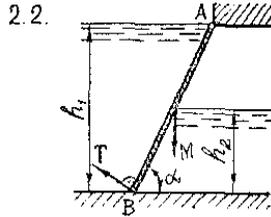
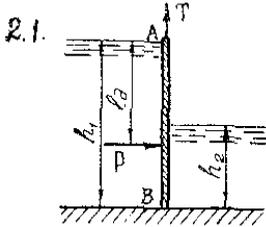
2.5. Прямоугольный щит АВ шириной  $b$  закреплен шарнирно в точке А (схема 2.5). Определить реакцию опор  $R_a$  и  $R_b$  при глубинах воды перед щитом  $h_1$  и за щитом  $h_2$ , если угол наклона щита к горизонту  $\alpha$  и его масса  $M$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

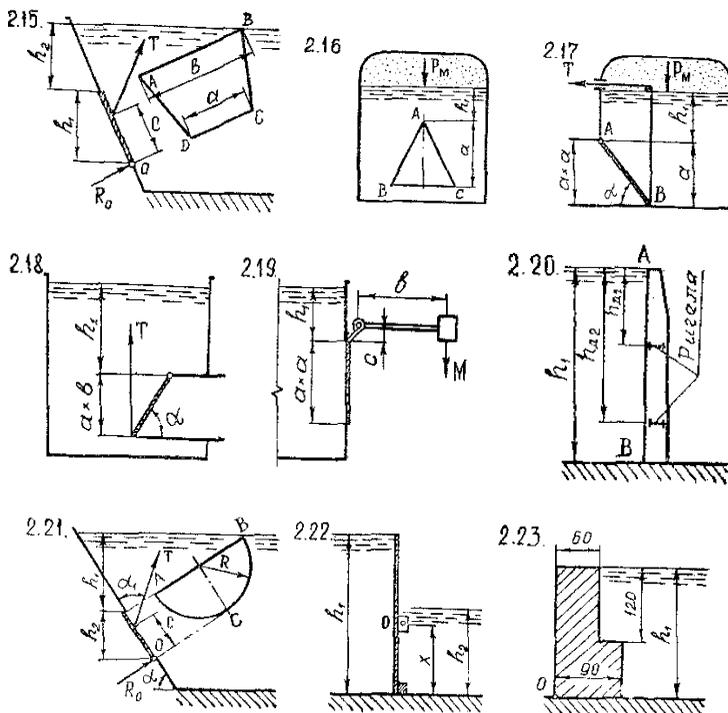
2.6. Определить натяжение троса  $T$  и силу реакции  $R_0$  на оси поворота щита ABCD (схема 2.6), закрывающего прямоугольное отверстие в стенке резервуара, если заданы линейные размеры:  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $a$ ,  $c$  и углы  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.7. Отверстие ABC в вертикальной стенке закрытого резервуара, представляющее равносторонний треугольник (схема 2.7), закрыто щитом. Определить силу давления бензина на щит и точку ее приложения, если заданы линейные размеры:  $h_1$ ,  $a$  и манометрическое давление  $p_m$  на свободной поверхности.

2.8. Для регулирования уровня воды в напорном резервуаре установлен поворачивающийся щит АВ (схема 2.8), который открывает отверстие в вертикальной стенке. Определить начальное натяжение троса  $T$ , если размеры щита  $a \times b$ , глубина  $h_1$  и манометрическое давление на свободной поверхности жидкости  $p_m$ . Трением в шарнирах пренебречь. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

Варианты схем и исходных данных к задачам  
по теме «Сила давления на плоские,  
произвольно ориентированные поверхности»





2.9. Автоматическое регулирование уровня нефти в напорном резервуаре осуществляется поворачивающимся щитом АВ (схема 2.9), который открывает отверстие в вертикальной стенке. Найти глубину  $h$  оси поворота щита и силу давления  $P$  на него, если размеры щита  $a \times b$ , глубина  $h_1$  и манометрическое давление на свободной поверхности жидкости  $p_m$ . Трением в шарнире пренебречь. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.10. Плоский прямоугольный затвор АВ, закрывающий выпускное отверстие в теле плотины (схема 2.10), перемещается по ее стенке, наклонной под углом  $\alpha$ . Определить начальное подъемное усилие  $T$ , если заданы линейные размеры:  $h_1, h_2, a, b$  и коэффициент трения  $f$  в направляющих. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.11. Прямоугольный поворотный затвор размером  $a \times b$  закрывает водовыпускное отверстие водозабора (схема 2.11). Определить

начальное подъемное усилие  $T$ , необходимое для открытия затвора при линейных размерах  $h_1$  и  $h_2$ , если трением в цапфах пренебречь. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.12. Определить начальное подъемное усилие  $T$ , необходимое для открытия прямоугольного затвора АВ (схема 2.12) при линейных размерах:  $a$ ,  $b$ ,  $h_1$  и  $h_2$ , если масса затвора  $M$  и его угол наклона к горизонту  $\alpha$ . Трением в шарнире пренебречь. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.13. В вертикальной стенке закрытого резервуара, заполненного нефтью, имеется квадратное отверстие  $a \times a$  (схема 2.13). Определить показание  $h$  U-образного ртутного манометра и давление  $p_0$  на свободной поверхности, при которых реакция в опоре клапана В составит  $S = 19,62$  кН, если глубина его погружения  $h_1$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.14. Вертикальный щит АВ (схема 2.14) перекрывает канал трапецеидального сечения. Определить силу давления и точку ее приложения, а также начальное подъемное усилие  $T$  при линейных размерах:  $a$ ,  $b$ ,  $h_1$  и  $h_2$ , если масса щита  $M$ , а его коэффициент трения в пазах  $f$ .

2.15. Определить минимально необходимое натяжение  $T$  троса и усилие реакции  $R_0$  в оси поворота клапана ABCD (схема 2.15), закрывающего отверстие в плоской стенке резервуара при линейных размерах:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $h_1$  и  $h_2$  и углах  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ .

Построить эпюру гидростатического давления.

2.16. Отверстие ABC в вертикальной стенке закрытого, резервуара перекрывается треугольным клапаном с размерами  $a$  и  $b$  (схема 2.16). Определить силу давления бензина на клапан и точку ее приложения при манометрическом давлении на свободной поверхности  $p_m$  и глубине  $h_1$ . Построить эпюру гидростатического давления по вертикальной оси клапана.

2.17. Поворотный клапан закрывает выход из бензохранилища в трубу квадратного сечения  $a \times a$ . Определить начальное подъемное усилие  $T$ , необходимое для открытия клапана АВ (схема 2.17) при глубине  $h_1$ , манометрическом давлении  $p_m$  на свободной поверхности и при угле  $\alpha$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.18. Труба прямоугольного сечения  $a \times b$  для выпуска нефти из открытого нефтехранилища закрывается откидным плоским клапа-

ном, расположенным под углом  $\alpha$  к горизонту (схема 2.18). Определить начальное подъемное усилие  $T$  троса, чтобы открыть клапан при глубине  $h_1$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.19. В вертикальной стенке закрытого резервуара, заполненного бензином, имеется прямоугольное отверстие  $a \times b$  (схема 2.13). Определить силу давления и точку ее приложения при показании ртутного U-образного манометра  $h = 50$  мм и глубине  $h_1$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.20. Квадратное отверстие  $a \times a$  в вертикальной стенке резервуара закрыто плоским клапаном, который удерживается массой  $M$  груза на плече  $b$  (схема 2.19). Определить величину массы  $M$  груза, необходимую для удержания глубины воды  $h_1$  в резервуаре, если величина  $c = 0,5$  м. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.21. Вертикальный прямоугольный плоский затвор АВ удерживает уровень воды  $h_1$  (схема 2.20). Определить место расположения несущих балок (ригелей) затвора так, чтобы сила давления на каждую из них была одинаковой при его ширине  $b$ . Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.22. Определить минимально необходимое натяжение  $T$  троса и усилие реакции  $R_0$  в оси поворота клапана АВС (схема 2.21), закрывающего отверстие в плоской стенке резервуара при линейных размерах:  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $c$  и углах  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ . Построить эпюру гидростатического давления по вертикальной оси клапана.

2.23. На каком, расстоянии  $X$  от дна канала нужно расположить ось вращения О-О плоского прямоугольного затвора, чтобы он открывался автоматически (схема 2.22), как только глубина воды слева будет превышать  $h_1$ , а справа –  $h_2$ . Ширина затвора  $b$ .

Трением в шарнире пренебречь. Расчет выполнить аналитическим и графоаналитическим способами.

2.24. Определить коэффициент устойчивости подпорной стенки на опрокидывание относительно точки О, если плотность ее кладки  $\rho_{\text{кл}} = 2400$  кг/м<sup>3</sup>, длина стенки  $l = 800$  м при размерах ее поперечного сечения, показанных, на схеме 2.23. Дать пояснение, при каком значении коэффициента стенка будет устойчива на опрокидывание.

2.25. При условии задачи 2.24 определить коэффициент устойчивости подпорной стенки на сдвиг (схема 2.23), если коэффициент трения кладки о грунт равен  $f$ .

Таблица 2.1 – Исходные данные к решению задач 2.1 – 2.25

Наименование исходных величин		Номера вариантов					
		1	2	3	4	5	6
Глубина жидкости или линейная величина $h_1$ , м		2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
Глубина жидкости или линейная величина $h_2$ , м		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Линейные величины, м:	$a$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
	$b$	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
	$c$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Манометрическое давление $p_m$ , кПа		19,62	29,43	39,24	49,05	58,86	68,67
Масса затвора или клапана $M$ , кг		80	100	120	140	160	180
Углы наклона:	$\alpha_1$ , °	50	55	60	65	70	75
	$\alpha$ , °	40	45	50	55	60	65
Коэффициент трения $f$		0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65

### 3. СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

При определении силы давления на криволинейные поверхности заранее не известны точка приложения этой силы и ее направление, так как в каждой точке направление давления нормально к поверхности в этой точке. В этом отличие настоящей задачи от задачи по

определению силы давления на плоскую поверхность, когда направление равнодействующей заранее известно. Поэтому решение задач по определению силы давления на криволинейные, в частности, цилиндрические поверхности, сводится к определению равнодействующей двух проекций суммарного давления.

$$D = \sqrt{E_0^2 + E_z^2} \quad (3.1)$$

И угла наклона ее к горизонту

$$\beta = \arctg \frac{P_z}{P_x} \quad (3.2)$$

где  $P_x$  и  $P_z$  – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие силы давления.

При решении задач данного типа особое внимание следует обратить на определение величины объема тела давления  $W_{т.д.}$  и площади проекции рассматриваемой криволинейной поверхности на вертикальную плоскость  $\omega_z$ .

Для изучения темы рекомендуется следующая литература: [1, с. 35 – 52; 2, с. 34 – 37; 3, с. 26 – 32; 4, с. 22 – 30].

### Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схемах 3.1 – 3.25 и в табл. 3.1.

3.1 – 3.3. Определить силу и центр давления воды на цилиндрический затвор радиусом  $R$  и шириной  $b$  (схема 3.1 – 3.3).

3.4 – 3.5. Пренебрегая трением в шарнире А, определить силу натяжения цепи  $T$  в начальный момент подъема, цилиндрического затвора радиусом  $R$  и шириной  $b$ . Массой затвора пренебречь (схема 3.4 – 3.5).

3.6 – 3.10. Определить величину и направление силы давления на цилиндрический затвор радиусом  $R$  и шириной  $b$  (схема 3.6 – 3.10).

3.11 – 3.13. Определить растягивающее усилие, воспринимаемое болтами полусферической, крышки бензорезервуара, если показание

манометра  $p_m$ , радиус крышки  $r$  и плотность бензина  $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$  (схема 3.11 – 3.13).

3.14 – 3.15. Определить силу  $T$ , необходимую для поднятия полусферического клапана в дне резервуара с водой если радиус клапана  $r$ , масса  $100 \text{ кг}$  и давление на свободной поверхности воды  $p_0$  (схема 3.14 – 3.15).

3.16 – 3.17. Определить растягивающие и срезающие усилия, воспринимаемые болтами полуцилиндрической крышки резервуара с водой, если показание пьезометра  $a$ , радиус крышки  $r$  и длина обрезающей  $b$  (схема 3.16 – 3.17).

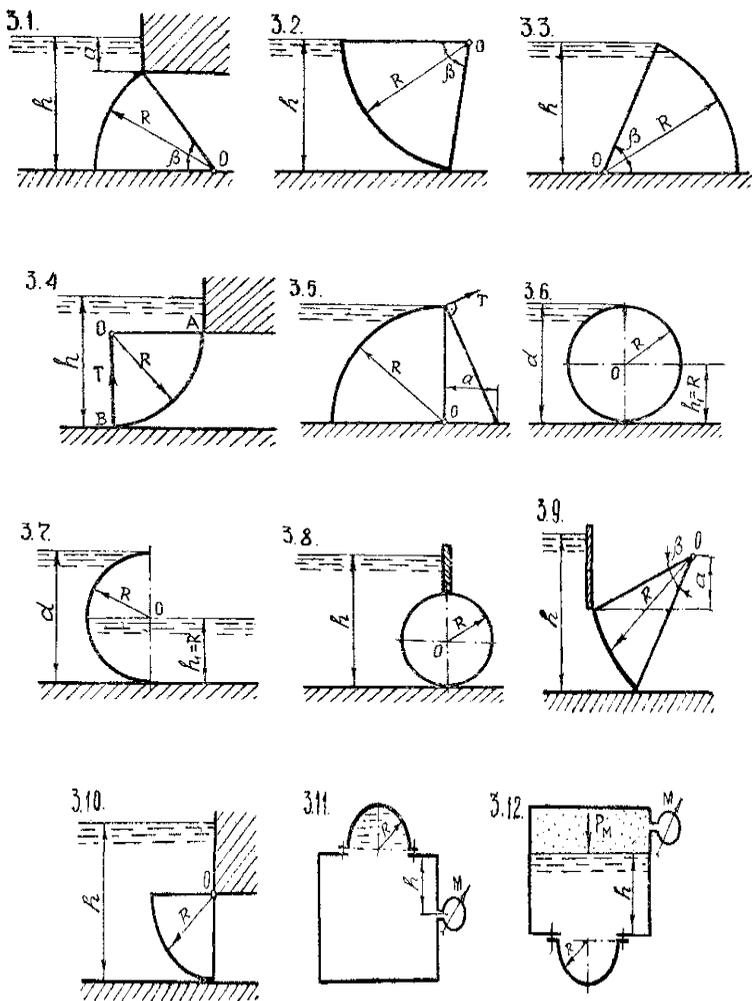
3.18. Определить минимальную толщину стенок стального трубопровода  $e$  ( $\sigma = 13734 \cdot 10^4 \text{ Па} = 137,34 \text{ МПа}$ ) радиусам  $r$ , находящегося под средним манометрическим давлением  $p_m \cdot 10^2$  (схема 3.18).

3.19. Определить минимальную толщину стенок стального резервуара  $e$  ( $\sigma = 13734 \cdot 10^4 \text{ Па} = 137,34 \text{ МПа}$ ) радиусом  $R$ , заполненного водой, если глубина воды в резервуаре  $h$  (схема 3.19).

3.20. Какое должно быть наименьшее вакуумметрическое давление в шаровом сосуде, висящем на тяге, прикрепленной к его верхней половине, чтобы удержать свободную нижнюю часть сосуда массой  $10 \text{ кг}$ . Радиус сосуда  $r$  (схема 3.20).

3.21. Шаровой поплавков массой  $200 \text{ г}$  соединен с клапаном массой  $100 \text{ г}$ , перекрывающим отверстие в дне сосуда с водой. Определить радиус поплавка  $r$  при условии, что в момент открытия отверстия поплавков был погружен в воду наполовину. Диаметр клапана  $d = 5 \text{ см}$  (схема 3.21).

Варианты схем и исходных данных к задачам  
по теме «Сила давления на криволинейные поверхности»



Варианты схем и исходных данных к задачам по теме «Сила давления на криволинейные поверхности»

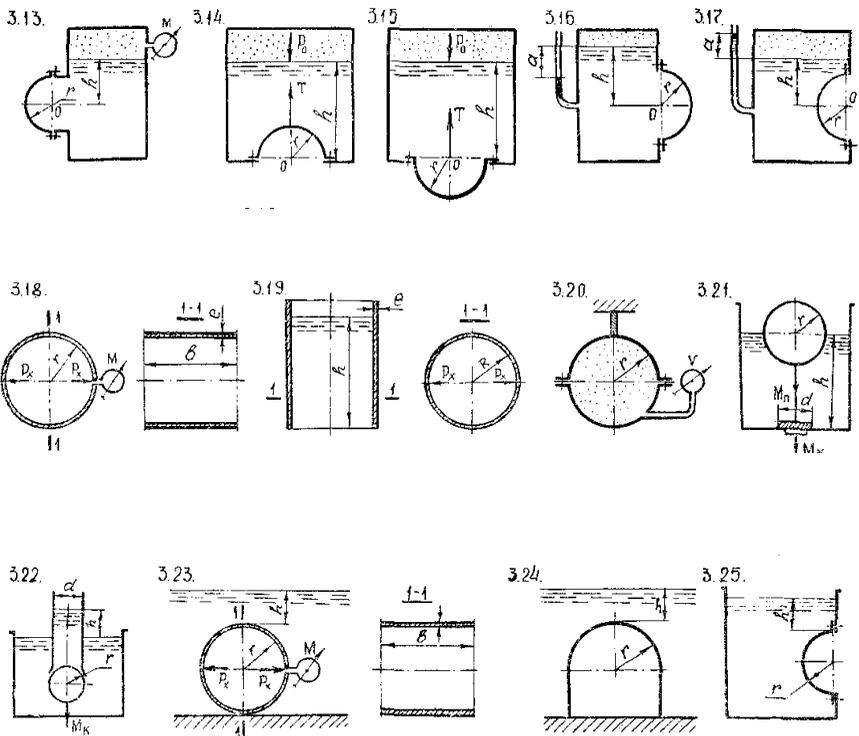


Таблица 3.1 – Исходные данные к решению задач 3.1 – 3.25

Исходные данные	Номера вариантов
-----------------	------------------

		1	2	3	4	5	6
Глубина жидкости $h$ , м		3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
Радиус элемента:	$R$ , м	4,0	4,4	4,8	4,6	4,2	4,0
	$r$ , м	0,2	0,3	0,4	0,35	0,25	0,15
Ширина (длина) элемента $b$ , м		2,0	3,0	4,0	5,0	4,0	2,0
Размер детали элемента $a$ , м		1,0	1,4	1,8	2,2	2,0	1,6
Угловая характеристика элемента $\beta$ , °		30	45	60	45	30	60
Манометрическое давление $p_m$ , кПа		19,62	29,43	39,24	39,24	29,43	19,62
Давление на свободной поверхности $p_0$ , кПа		147,15	156,96	166,77	166,77	156,96	147,15

3.22. Выходное отверстие погруженной в воду трубы внутренним диаметром  $d = 100$  мм перекрывается полым шаровым клапаном радиусом  $r$  и массой  $M = 0,5$  кг. При какой разности уровней  $h$  клапан начнет пропускать воду из трубы в резервуар (схема 3.22)?

3.23. Определить минимальную толщину стенок стального трубопровода  $e$  ( $\sigma = 13734 \cdot 10^4$  Па = 137,34 МПа) радиусом  $r$ , проложенного по дну реки и находящегося под средним манометрическим давлением  $p_m \cdot 10^2$  (схема 3.23).

3.24. Определить силу давления воды на свод тоннеля, проложенного по дну водохранилища, если радиус свода  $r$  (схема 3.24).

3.25. Определить силу и центр давления воды на полусферическую крышку радиусом  $r$  (схема 3.25).

#### 4. ПРОСТЕЙШИЕ ГИДРОМАШИНЫ. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

Студенту предлагается решить практическую задачу по определению сил гидростатического давления и равновесного состояния в простейшей поршневой машине, или при плавании тела. Для решения ее необходимо; знать основное уравнение гидростатики, законы Паскаля и Архимеда, условия остойчивости плавающего тела.

Значительное гидростатическое давление, действующее в поршневых машинах, дает основание пренебречь удельной энергией положения при сравнительно небольшой разности высотных отметок различных точек гидросистемы. Это значит, что гидростатическое давление можно принимать одинаковым по всей рабочей поверхности поршня (независимо от его ориентации в пространстве) и даже в различных уровнях жидкости, на которую воздействует этот поршень. Для изучения темы рекомендуется [1, с. 50 – 56; 2, с. 37 – 43; 3, с. 33 – 39; 4, с. 30 – 33].

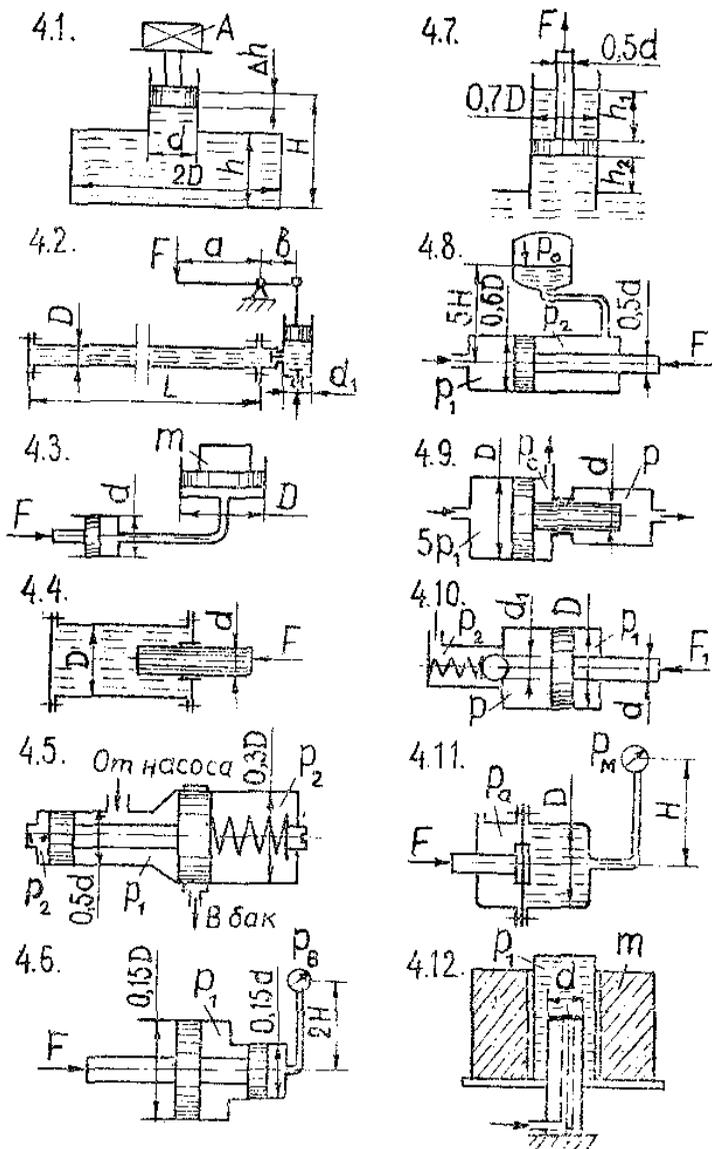
### Задачи

Исходные данные. для решения задач представлены на схемах 4.1 – 4.22 и в табл. 4.1, 4.2.

4.1. Определить объемный модуль упругости жидкости, если под действием груза  $A$  массой  $m$  поршень прошел расстояние  $\Delta h = 6$  мм (схема 4.1). Начальная высота положения поршня (без груза)  $H$ , диаметры поршня  $d$  и резервуара  $2D$ , высота резервуара  $h$ . Весом поршня пренебречь. Резервуар считать абсолютно жестким.

4.2. Для опрессовки водой (проверки герметичности) трубопровода диаметром  $D$  и длиной  $L$  применяется ручной поршневой насос (схема 4.2) с диаметром поршня  $d_1$  и соотношением плеч рычажного механизма  $\frac{d}{b} = 6$ . Определить объем воды (модуль упругости  $E_{ж} = 2000$  МПа), который нужно накачать в трубопровод для повышения избыточного давления в нем от 0 до 1,0 МПа. Считать трубопровод абсолютно жестким. Чему равно усилие на рукоятке насоса, в последний момент опрессовки?

Варианты схем и исходных данных к задачам  
по теме «Простейшие гидромшины»



4.3. Трубопровод диаметром  $D$  и длиной  $L$  заполнен водой (схема 4.2). Для опрессовки (проверки на герметичность) его используют

ется поршневой насос имеющий диаметр поршня  $d_1$  и ход его  $S$ . Вычислить, сколько рабочих ходов должен совершить поршень насоса, чтобы избыточное давление в трубопроводе повысилось от 0 до максимального значения  $p_{\max}$ .

4.4. Определить давление в гидросистеме (схема 4.3) и массу груза  $m$ , лежащего на большем поршне, если для его подъема к меньшему поршню приложена сила  $F$ . Диаметры поршней соответственно равны  $D$  и  $d$ . Разностью высот пренебречь.

4.5. Определить нагрузки на болты левой и правой крышек гидроцилиндра Диаметр  $D$ , если к плунжеру диаметром  $d$  приложена сила  $F$  (схема 4.4).

4.6. Определить силу предварительного сжатия пружины  $F_n$  дифференциального предохранительного клапана (схема 4.5), обеспечивающую начало открытия клапана при давлении  $p_1$ . Диаметры клапана  $0,5d$  и  $0,3D$ . Давление  $p_2$  справа от большого и слева от малого поршней равно атмосферному. Силами трения пренебречь.

4.7. При каком давлении  $p_1$  откроется дифференциальный предохранительный клапан (схема 4.5), если диаметры его равны  $0,3D$  и  $0,5d$ , давление справа от большого и слева от малого поршня  $p_2$ , сила предварительного сжатия пружины –  $5F_n$ ?

4.8. Определить силу  $F$  на штоке золотника (схема 4.6), если показание вакуумметра  $p_v = 60$  кПа, избыточное давление в полости между поршнями  $p_1$  высота  $2H$ , диаметры поршней  $0,15D$  и  $0,15d$ , плотность жидкости  $p = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

4.9. Определить силу  $F$ , необходимую для удержания поршня на высоте  $h_2$  над поверхностью воды в колодце (схема 4.7). Над поршнем находится столб воды высотой  $h_1$ . Диаметр поршня  $0,7D$ , штока –  $0,5d$ . Силу тяжести поршня со штоком не учитывать.

4.10. Определить давление  $p_1$  жидкости, которую нужно подвести к гидроцилиндру (схема 4.8), чтобы преодолеть усилие  $10F$ , направленное вдоль его штока. Диаметр цилиндра  $0,6D$ , штока –  $0,5d$ . В бачке давление  $p_0 = 80$  кПа, плотность жидкости  $p = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, высота  $5H$ . Силы трения не учитывать.

4.11. Определить давление  $p$ , получаемое на выходе гидравлического мультипликатора (схема 4.9) при рабочем ходе поршня, если в больший цилиндр подается жидкость под давлением  $5p_1$ , а противодавление, сливной линии  $p_c = 0,1$  МПа. Диаметр поршня –  $D$ , плунжера –  $d$ . Силами трения в уплотнениях пренебречь.

4.12. Определить минимальное значение силы  $F_1$  приложенной к штоку, под действием которой начнется движение поршня диаметром  $D$ , если сила пружины, прижимающая клапан к седлу, равна  $F_n$ , а давление жидкости за клапаном  $p_2$  (схема 4.10). Диаметр входного отверстия (седла) клапана  $d_1 = 10$  мм. Диаметр штока  $d$ , давление жидкости в штоковой полости гидроцилиндра  $p_1$ .

Силами трения пренебречь.

4.13. Под каким давлением  $p$  нужно подать жидкость в бесштоковую полость гидроцилиндра (схема 4.10), чтобы поршень начал двигаться вправо, преодолевая силу.  $F_1 = 5F$  на штоке, если давление в штоковой полости  $p_1$ ? На какую силу сжатия  $F_n$  нужно отрегулировать пружину предохранительного клапана, чтобы он открывался при возрастании силы на штоке до величины  $1,3F_1$ ? Диаметр входного отверстия (седла) клапана  $d_1 = 5$  мм, давление  $p_2 = 0$ .

Силы трения не учитывать.

4.14. Определить силу  $F$ , действующую на шток гибкой диафрагмы (схема 4.11), если ее диаметр  $D$ , показание манометра  $p_m = 0,2$  МПа, он установлен на высоте  $H$ , давление в правой полости атмосферное.

4.15. Для накопления энергии используется грузовой гидравлический аккумулятор (схема 4.12), имеющий диаметр плунжера  $d$ . Определить общую массу груза  $m$ , необходимую для создания давления  $p_1$  в цилиндре, и запасаемую аккумулятором энергию при подъеме гидроцилиндра с грузом на высоту  $H$ .

Силы трения не учитывать.

4.16. Определить осадку и проверить остойчивость треугольной равнобедренной призмы, плавающей в воде (схема 4.13) и имеющей следующие размеры: высота  $h_1 = 15$  см, ширина  $b_1 = 13$  см, длина  $l_1 = 60$  см, угол при вершине  $\alpha = 50^\circ$ .

Относительная плотность материала призмы  $\varepsilon_\rho = -\frac{\rho_1}{\rho}$  приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные к решению задач 4.1 – 4.15

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр, мм:						
$D$	63	80	100	125	160	200
$d$	32	40	50	63	80	100
$d_1$	30	30	35	40	45	50
Длина $L$ , м	150	200	250	300	250	200
Высота, м:						
$H$	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7
$h$	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
$h_1$	2,0	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0
$h_2$	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
Ход поршня $s$ , мм	60	70	80	90	100	120
Масса груза $m$ , кг	60	90	120	160	250	300
Давление, МПа:						
$p_1$	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8	2,2
$p_2$	0,1	0,14	0,16	0,20	0,22	0,24
$p_{\max}$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,46
Сила, Н:						
$F$	200	300	400	500	600	720
$F_n$	80	120	135	150	180	200

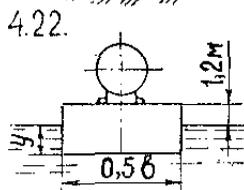
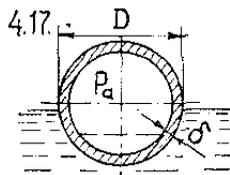
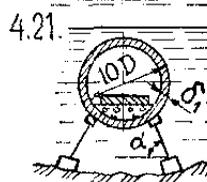
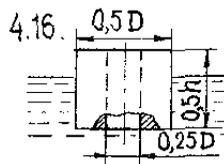
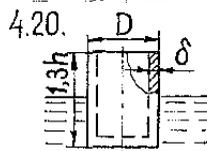
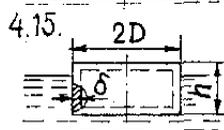
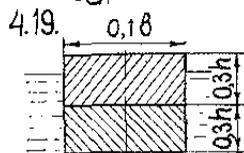
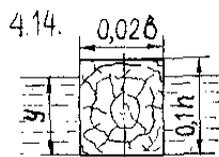
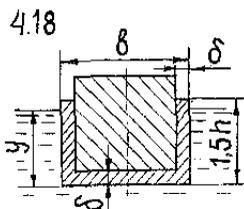
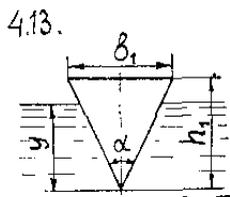
4.17. Определить осадку и проверить остойчивость плавания в воде деревянного бруска (схема 4.14). Размеры бруска следующие: высота  $0,1h$ , ширина  $0,02b$ , длина  $l = 50$  см. Относительная плотность  $\varepsilon_p = 0,8$ . Вычислить наименьшую ширину  $b_1$ , при которой брусок будет еще остойчив.

4.18. Определить осадку и проверить остойчивость полого цилиндрического понтона, плавающего в воде (схема 4.15). Высота понтона  $h$ , диаметр  $2D$ , приведенная толщина стенок  $\delta$ . Относительная плотность материала стенок  $\varepsilon_p = 7,8$ . В случае неустойчивости понтона вычислить наибольшую высоту  $h_1$ , при которой понтон еще будет остойчив. Для упрощения расчета вес переборок и креплений условно учтен путём соответствующего увеличения толщины стенок понтона.

4.19. Полый вертикальный цилиндр плавает в воде (схема 4.16). Внешний диаметр цилиндра  $0,5D$ , внутренний –  $0,25D$ , высота –

$0,5h$ , относительная плотность материала цилиндра  $\varepsilon_p = 0,65$ . Определить, устойчив ли цилиндр. В случае если, цилиндр неустойчив, найти минимальный внешний диаметр (при неизменном внутреннем), при котором цилиндр становится устойчивым.

Варианты схем и исходных данных к задачам по теме «Плавание тел»



4.20. Полый металлический баллон в виде шара опущен воду (схема 4.17). Размеры баллона следующие: наружный диаметр  $D$ , толщина оболочки  $\delta = 6$  мм, плотность оболочки  $\rho_m$ . Определить

при данных, указанных в табл. 4,2: 1) водоизмещение; 2) количество воды, которое надо налить в баллон, чтобы осадка была  $0,5D$ ; 3) предельное количество воды, которое можно налить в баллон, чтобы он не тонул. Дать заключение об остойчивости баллона при плавании во всех трех случаях.

4.21. Определить грузоподъемность баржи и ее остойчивость в грузе в состоянии (схема 4.18). Габаритные размеры баржи  $1xb \times 1,5h$ , приведенная толщина стенок  $\delta$ . Осадка грузовой баржи  $y = 1,2h$ . Относительная плотность материала баржи  $\epsilon_{p1} = 7,8$ , а груза –  $\epsilon_{p2}$ . Для упрощения расчета принять, что баржа имеет прямоугольное очертание и груз расположен по всему сечению равномерным слоем. Вес переборок и других конструктивных частей баржи условно отнесен к приведенному весу ее стенок.

4.22. Брус длиной  $l$  составлен из двух скрепленных между собой пластин шириной  $0,1b$  и высотой  $0,3h$  каждая (схема 4.19). Плотность пластин  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Определить остойчивость бруса при плавании в воде в двух случаях: 1) пластина с большей плотностью расположена сверху; 2) пластина с большей плотностью расположена снизу.

4.23. Полый цилиндр, имеющий высоту  $1,3h$ , наружный диаметр  $D$ , толщину стенки  $\delta = 7$  мм, плотность материала стенки  $\rho_m$ , плавает в воде (схема 4.20). Определить, будет ли остойчив цилиндр в порожнем состоянии и в случае, если в него насыпать ровным слоем высотой  $h_n$  песок с плотностью  $\rho_n = 1800$  кг/м<sup>3</sup>. Определить в обоих случаях осадку цилиндра.

Исходные данные представлены в табл. 4.2.

4.24. Плавающий железобетонный тоннель, имеющий наружный диаметр  $10D$  при толщине стенок  $\delta_1$ , удерживается от всплытия тросами, расположенными попарно через каждые  $0,5$  м (схема 4.21). Определить натяжение тросов, если масса дополнительной нагрузки, приходящаяся на один погонный метр, равна  $m_y$ , плотность железобетона  $\rho_6 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>, углы наклона тросов к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ .

Таблица 4.2 – Исходные данные к решению задач 4.16 – 4.25

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Относительная плотность:						
$\varepsilon_p$	0,95	0,85	0,80	0,70	0,65	0,60
$\varepsilon_{p2}$	2,0	0,7	0,95	0,8	1,8	1,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup> :						
$\rho_m$	900	7850	7800	7700	2200	7600
$\rho_1$	1100	1200	1300	1000	900	800
$\rho_2$	800	600	500	700	400	500
Диаметр $D$ , м	1,2	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7
Длина, м:						
$l$	30	40	50	60	70	80
$l_1$	5,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,3
Ширина $b$ , м	5	6	7	8	9	10
Высота, м:						
$h$	1,3	1,4	1,8	2,2	2,4	2,6
$h_n$	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4
Толщина стенки, м:						
$\delta$	0,005	0,007	0,010	0,010	0,020	0,020
$\delta_1$	0,50	0,40	0,40	0,35	0,30	0,25
Удельная масса $m_y$ , кг/м	1000	950	900	870	850	800
Масса, кг:						
$m_n$	4000	5000	6000	7000	8000	9000
$m_k$	6000	8000	10000	12000	16000	18000

4.25. На понтоне (схема 4.22) с размерами дна  $0,17 \times 0,5b$ , высотой борта 1,2 м и массой  $m_n$  перевозят котел массой  $m_k$ , центр тяжести которого расположен на высоте 1 м над палубой понтона. Определить осадку  $u$  и проверить остойчивость понтона. Считать, что масса понтона распределена равномерно, а центр тяжести его поперечных сечений расположен на 0,8 м, ниже палубы.

## 5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОРОТКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Методика гидравлического расчета коротких трубопроводов положена в основу расчетов большого, различного по назначению класса трубопроводов, водопропускных и водосбросных сооружений, к которому относятся всасывающие трубопроводы насосов, внутренняя разводка, трубопроводов в зданиях, сифоны, дюкеры, трубы-переезды, водовыпуски и т. д.

Гидравлический расчет коротких трубопроводов основан на использовании основных законов гидродинамики, и его методика включает рассмотрение следующих вопросов: 1) применение уравнения Бернулли и его преобразование к расчетному виду согласно условию задачи; 2) определение типа задачи; 3) расчет потерь удельной энергии в потоке и определение расчетной величины.

Уравнение Бернулли для потока при установившемся движении вязкой жидкости и его практическое применение достаточно полно изложено в [1, с. 163 – 176; 3, с. 47 – 50; 4, с. 53 – 64].

В расчетах, в зависимости от условий применения или назначения короткого трубопровода, могут быть известны напор  $H$  или давление  $p$ , при котором работает трубопровод, расход  $Q$  жидкости, проходящий по нему, его геометрические размеры (длина  $l$  и диаметр  $d$ ) и материал (эквивалентная шероховатость  $\Delta$  и коэффициент шероховатости  $n$ ), физические свойства жидкости (плотность  $\rho$  и кинематический коэффициент вязкости  $\nu$ ). С учетом этого можно выделить три основных типа задач, методика решения которых имеет свои особенности.

**1-й тип.** Известны  $Q, l, d, \Delta (n), \rho, \nu$ , а расчету подлежит неизвестный напор  $H$  или давление  $p$ , при котором работает трубопровод.

**2-й тип.** Известны  $H$  или  $p, l, d, \Delta, \rho, \nu$ , а расчету подлежит расход  $Q$ , проходящий по трубопроводу.

**3-й тип.** Известен  $H$  или  $p, Q, l, \Delta, \rho, \nu$ , а определяется диаметр трубопровода.

При решении задач указанных типов необходимо учитывать потери удельной энергии в потоке, исходя из чего и определяется неизвестная величина. Теория расчета потерь достаточно полно изложена в [1, с. 129 – 144], а практическое применение этого вопроса

при решении задач приводится в [2, с. 163 – 176; 3, с. 76 – 92; 4, с. 53 – 64] и других учебниках.

## Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схемах 5.1 – 5.18 и в табл. 5.1.

5.1. Определить давление  $p_n$ , которое должен создавать насос в начале нагнетательного трубопровода размерами  $h_1$ ,  $d$  (схема 5.1), чтобы обеспечить подачу  $Q$  жидкости в бак А с избыточным давлением  $p_1$ . Шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ .

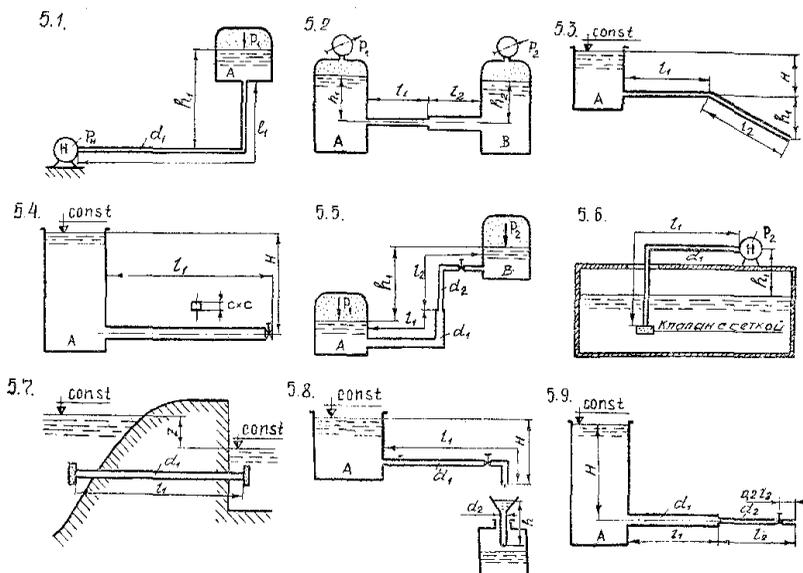
5.2. Определить расход жидкости в горизонтальном трубопроводе, соединяющем резервуары А и В, имеющем размеры  $h_1$  и  $h_2$ ,  $d_1$  и  $d_2$ , а глубины ее над осью трубопровода составляют  $h_1$  и  $h_2$  (схема 5.2), показания манометров равны  $p_1$  и  $p_2$ . Шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ . Построить пьезометрическую линию и полной удельной энергии.

5.3. Определить напор  $H$ , который необходимо поддерживать в резервуаре А, чтобы обеспечить расход  $Q$  жидкости в трубопроводе диаметром  $d_1$ , состоящем из горизонтального и наклонного участков длиной  $l_1$  (схема 5.3). Степень закрытия задвижки  $\frac{a}{d} = \frac{4}{8}$ , шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ .

5.4. Резервуары А и В соединены горизонтальным трубопроводом переменного сечения с диаметрами  $d_1$  и  $d_2$  длинами  $l_1$  и  $l_2$ . Давление  $p_1$  в резервуаре А вакуумметрическое, а давление  $p_2$  в резервуаре В избыточное (схема 5.2). Глубины жидкости над осью трубопровода равны  $h_1$  и  $h_2$ . Определить расход  $Q$  в трубопроводе, построить пьезометрическую линию и полной удельной энергии, если шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ .

5.5. Определить напор  $H$ , который необходимо поддерживать в резервуаре А, чтобы обеспечить расход  $Q$  в коротком трубопроводе квадратного сечения со стороной  $C$  и длиной  $l_1$ , если степень открытия задвижки  $\frac{a}{\bar{d}} = 0,6$  (схема 5.4), шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ .

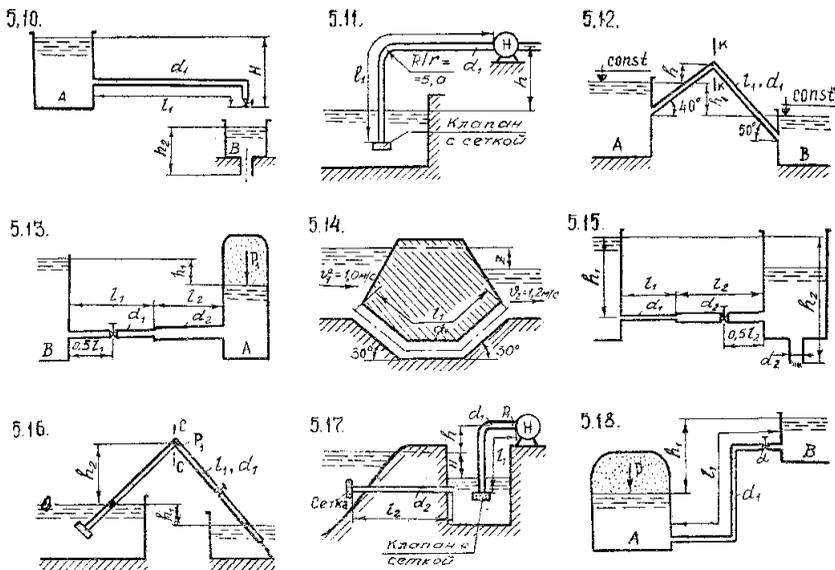
## Варианты схем исходных данных к гидравлическому расчету коротких трубопроводов



5.6. Для подачи жидкости в количестве  $Q$  на расстояние  $h$  под напором  $h_1$  можно использовать трубы, диаметрами  $d_1$  и  $d_2$  с шероховатостью  $\Delta$ . Определить необходимые длины участков трубопровода  $h_1'$  и  $h_2''$ , принимая температуру жидкости  $t$ .

5.7. По трубопроводу переменного сечения с диаметрами  $d_1$ ,  $d_2$  и длинами  $h_1$  и  $h_2$  из резервуара А с избыточным давлением  $p_1$  подается жидкость в резервуар В с вакуумметрическим давлением  $p_2$  при разности уровней в них  $h_1$  (схема 5,5), если шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$  и степень открытия задвижки  $\frac{a}{d} = \frac{5}{8}$ . Определить расход  $Q$  жидкости и значение коэффициента сопротивления задвижки, при котором расход уменьшится в два раза.

## Варианты схем исходных данных к гидравлическому расчету коротких трубопроводов



5.8. Сравнить потери удельной энергии на трение в круглой трубе диаметром  $d_1$  и трубе квадратного сечения  $c \times c$  длиной  $l_1$ , если расход жидкости  $Q$ , шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ .

5.9. Определить диаметр  $d$  горизонтального трубопровода длиной  $l_1$  необходимый для пропуска по нему жидкости в количестве  $Q$ , если давление в начале рассматриваемого участка трубопровода  $p_1$ , а в конце –  $p_2$ . Шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ , температура жидкости  $t$ . Как изменится диаметр трубопровода, если давление  $p_1$  увеличить на 20%?

5.10. Насос откачивает жидкость из подземного резервуара (схема 5.6) по всасывающему трубопроводу, диаметр которого  $d_1$ , длина  $l_1$  и шероховатость стенок  $\Delta$ . Уровень жидкости в резервуаре ниже оси насоса на величину  $h_1$ . Определить расход  $Q$  жидкости из резервуара, если абсолютное давление на входе в насос  $p_2$ , температура жидкости  $t$ .

5.11. Определить, при какой разности  $Z$  (схема 5.7) уровней в водохранилище и приемном колодце по трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$  будет поступать расход  $Q$  воды, если ее температура  $t$ , а шероховатость стенок трубопровода  $\Delta$ .

5.12. Заполнение бака бензином происходит через воронку диаметром  $d_2$ , высотой  $h = 400$  мм с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{в}} = 0,25$ . Определить, какой наибольший напор  $H$  можно иметь в резервуаре А (схема 5.8), чтобы воронка не переполнялась, и каков при этом расход бензина, поступающего в бак. Трубы стальные новые диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ , угол открытия крана  $\alpha = 30^\circ$ , температура бензина  $20^\circ\text{C}$ .

5.13. Жидкость вытекает в атмосферу по короткому горизонтальному трубопроводу переменного сечения с диаметрами  $d_1$ ,  $d_2$  и длинами  $l_1$  и  $l_2$  (схема 5.9), на котором установлена задвижка ( $a/d = 5/8$ ), под постоянным напором  $h_1$ . Трубы новые стальные, температура жидкости  $t$ . Определить расход жидкости в трубопроводе, построить пьезометрическую линию и полной удельной энергии.

5.14. Из резервуара А жидкость сливается в резервуар В по трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ . Через внешний цилиндрический насадок диаметром  $d_2$  из резервуара В жидкость вытекает в атмосферу (схема 5.10). Определить напор  $H$ , какой нужно поддерживать в резервуаре А, чтобы в резервуаре В он составил  $h_2$ , если степень открытия крана на трубопроводе  $\alpha = 30^\circ$ , температура жидкости  $t$ , трубы новые стальные.

5.15. Определить высоту  $h$  расположения оси насоса над уровнем жидкости в резервуаре, чтобы вакуумметрическое давление во всасывающем трубопроводе не превосходило  $p_1$ , если расход жидкости  $Q$ , длина трубопровода  $l_1$  и диаметр  $d_1$  (рис. 5.11), трубы новые стальные, температура жидкости  $t$ .

5.16. По самотечному сифонному трубопроводу длиной  $l_1$  необходимо обеспечить расход  $Q$  жидкости при напоре  $h_1$  (схема 5.12). Определить диаметр трубопровода  $d$ , если температура жидкости  $t$ , трубы новые стальные. Найти превышение  $h$  сечения К-К над уровнем в резервуаре А, если оно находится на середине длины трубопровода, а вакуумметрическое давление в нем не должно превышать  $p_2$ .

5.17. По короткому трубопроводу переменного сечения с диаметрами  $d_1$ ,  $d_2$  и длинами  $l_1$  и  $l_2$  жидкость из резервуара А с избы-

точным давлением  $p_1$  поступает в открытый резервуар В при постоянной разности уровней  $h_1$  (схема 5.13). Определить расход  $Q$  жидкости в трубопроводе, если задвижка открыта ( $a/d = 3/8$ ), трубы новые чугунные, температура жидкости  $t$ . Построить пьезометрическую линию и полной удельной энергии.

5.18. Определить разность уровней  $Z$  при пропуске по бетонному дюкеру диаметром  $d = 10d_2$  и длиной  $l_1$  (схема 5.14) расхода  $Q_1 = 100Q$  воды, если шероховатость стенок дюкера  $\Delta$ , а температура воды  $t$ .

5.19. По короткому новому стальному трубопроводу переменного сечения с диаметрами  $d_1$ ,  $d_2$  и длинами  $l_1$  и  $l_2$  жидкость при температуре  $t$  из резервуара А поступает в резервуар В, из которого она сливается в атмосферу по внешнему цилиндрическому насадку диаметром  $d_2$ . Определить расход  $Q$  жидкости в трубопроводе при напорах  $h_1$  и  $h_2$ , показанных на схеме 5.15, если степень открытия задвижки  $a/d = 3/8$ . Построить, пьезометрическую линию и полной удельной энергии.

5.20. По сифонному новому стальному трубопроводу длиной  $l_1$  из резервуара А в резервуар В при разности уровней  $h_1$  (схема 5.16) подается расход  $Q$  жидкости при условии, что вакуумметрическое давление в сечении С-С, которое расположено выше уровня в резервуаре на  $h_2$ , не превышает  $p_1$ .

Определить диаметр трубопровода  $d$  и коэффициент сопротивления  $\zeta_3$  задвижки, удовлетворяющие условиям задачи, если трубопровод снабжен обратным клапаном с сеткой и задвижкой, а температура жидкости  $t$ .

5.21. Насос, расположенный выше уровня воды в реке на  $h = 10$  м, по всасывающему трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$  осуществляет забор воды из колодца (схема 5.17), которая по самотечной трубе диаметром  $d_2$  и длиной  $l_2$  поступает из реки. Определить расход  $Q$  воды и разность уровней  $H$  в реке и колодце, если вакуумметрическое давление во всасывающем патрубке насоса  $p_1$ . Трубы стальные новые, температура воды  $t$ .

5.22. Определить, давление  $p$  воздуха в резервуаре А, чтобы обеспечить подачу  $Q$  жидкости в открытый, резервуар В на высоту  $h_1$  (схема 5.18) по новому стальному трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ , если угол открытия крана  $\alpha = 30^\circ$ , температура жидкости  $t$ .

5.23. Жидкость в количестве  $Q$  перекачивается по трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ . Определить потери удельной энергии и

построить график функциональной зависимости  $H = f(\Delta)$  при возрастающих значениях шероховатости стенок трубопровода в процессе его старения ( $\Delta = 0,1$  мм; 0,2 мм; 0,6 мм; 1,2 мм), если температура жидкости  $t$ .

5.24. Сравнить расходы в новом чугунном трубопроводе диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ , работающем при напоре  $h_1$ , если температура жидкости увеличится от  $t$  до  $t_1 = 2t$ .

Расчет выполнить при данных, приведенных в табл. 5.1.

5.25. По сифонному новому стальному трубопроводу, для которого задан напор  $h_1$ , жидкость из резервуара А подается в резервуар В (схема 5.16). Определить расход  $Q$  в трубопроводе и наибольшую величину вакуума, если его диаметр  $d_1$  и длина  $l_1$ . Трубопровод снабжен обратным клапаном с сеткой и задвижкой со степенью открытия  $a/d = 5/8$ , а температура жидкости  $t$ .

Таблица 5.1 – Исходные данные к решению задач 5.1 – 5.25

Наименование исходных величин		Номера вариантов					
		1	2	3	4	5	6
Расход жидкости $Q$ , л/с		1,5	2,0	4,0	5,5	7,5	10,0
Длина участков трубопровода, м	$h_1$	30	35	40	45	50	55
	$h_2$	45	40	35	30	25	20
Диаметры участков трубопровода, мм	$d_1$	25	32	40	50	60	70
	$d_2$	32	40	50	60	70	80
Вид жидкости		Вода	Бензин	Керосин	Масло соляное	Масло машинное	Нефть
Температура жидкости $t$ , °С		10	12	15	20	25	30
Напор или линейный размер, м	$h_1$	4,0	3,5	3,0	2,5	1,5	1,0
	$h_2$	6,0	6,5	5,0	5,5	4,5	4,0
	$c$	0,022	0,028	0,035	0,044	0,053	0,062
Давление, кПа	$p_1$	55	60	65	70	75	80
	$p_2$	30	35	40	45	50	55
Шероховатость стенок трубопровода $\Delta$ , мм		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

## 6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

Для решения задач по данной теме необходимо рассмотреть вопросы истечения жидкости через отверстия и насадки при постоянном и переменном напорах.

Отверстие называется малым, если можно пренебречь изменением давления по его площади. Насадками называются небольшие по длине трубы, подсоединенные к таким отверстиям.

И отверстия, и насадки широко используются в технике и строительстве. В работе этих устройств много общего. Они рассчитываются по общим формулам, в которых учитываются только местные сопротивления потери энергии, используются общие характеристики работы (коэффициенты расхода, скорости, сжатия и сопротивления). Но перечисленные коэффициенты резко отличаются друг от друга для различных случаев истечения жидкости. На истечение жидкости из отверстия влияют форма и положение отверстия относительно дна и боковых стенок резервуара, что заметно влияет на коэффициент сжатия и соответственно на коэффициент расхода. В работе насадков основную роль играют изменение формы поперечного сечения по длине и сама длина насадка. Поэтому в настоящем разделе основное внимание нужно уделять условиям истечения жидкости, в соответствии с некоторыми и назначаются расчетные коэффициенты. Наиболее простые насадки – цилиндрические. На их примере нужно изучить условия нормальной работы. Внешне нормальную работу характеризует заполнение жидкостью своего выходного сечения, а по существу – образование вакуума в зоне сжатия. Практически это требует определенной длины насадка, ограничения напора предельными и заполнения насадки жидкостью в момент пуска.

В заключение следует отметить, что напорные водопропускные дорожные трубы обычно работают как насадки, а полупнапорные – как отверстия.

Для изучения темы рекомендуется [1, с. 131 – 150; 2, с. 147 – 166; 3, с. 92 – 112; 4, с. 64 – 81].

## Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схемах 6.1 – 6.16 и в табл. 6.1 – 6.5.

6.1. В вертикальной стенке, разделяющей резервуар на две части (схема 6.1), расположено круглое отверстие с известным диаметром  $d_1$ . В наружной стенке имеется другое отверстие диаметром  $d_2$ . Центры обоих отверстий расположены на высоте  $h$  от дна. Глубина воды в левой части резервуара  $h_1$ ; расход через отверстия  $Q = Q_1 = Q_2$ .

Определить глубину  $h_2$  воды в правой части резервуара и диаметр  $d_2$  отверстия в наружной стенке.

6.2. В бак (схема 6.1), разделенный перегородкой на два отсека, подается бензин с расходом  $Q$  и температурой  $20^\circ\text{C}$ . В перегородке бака имеется цилиндрический насадок, диаметр которого  $d_1$ , а длина  $l = 3d_1$ . Бензин из второго отсека через отверстие диаметром  $d_2$  поступает наружу, в атмосферу. Определить глубины  $h_1$  и  $h_2$  обоих отсеках, если центры насадка и отверстия находятся на высоте  $h$  от дна.

6.3. В вертикальной стенке, разделяющей резервуар на две части (схема 6.1), расположено круглое отверстие диаметром  $d_1$ . Центр отверстия находится на высоте  $h$  от дна. Глубины минерального масла в резервуаре  $h_1$  и  $h_2$ , температура  $T = 20^\circ\text{C}$ , площади зеркал равны соответственно  $S_1$  и  $S_2$ . Определить: 1) время выравнивания уровней в резервуаре, если приток масла отсутствует ( $Q = 0$ ), а отверстие в наружной стенке плотно закрыто; 2) как изменится время выравнивания уровней, если перетекание будет происходить через Цилиндрический насадок такого же диаметра и длиной  $l = 3d_1$ .

6.4. Определить скорость и расход перетекания воды из одной половины сосуда в другую через цилиндрический насадок перегородивающей стенки (схема 6.2), если глубина наполнения левой части сосуда  $h_1$ , правой  $h_2$ , диаметр отверстия насадка  $d_2$ . Показание жидкостного дифференциального манометра, заполненного ртутью,  $h_{\text{рт}}$ . Возвышение центра тяжести отверстия над дном сосуда  $h$ . Условия считать стационарными, а поток установившимся.

6.5. Из левой половины резервуара (схема 6.2) в правую перетекает дизельное топливо при температуре  $T = 15^\circ\text{C}$  через внешний цилиндрический насадок диаметром  $d_1$ . Начальное наполнение левой половины резервуара  $h_1$ , а правой –  $h_2 = 0$ , а площади сечений равны соответственно  $S_1$  и  $S_2$ . Показания дифференциального ртут-

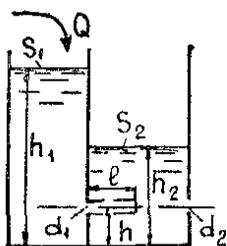
ного манометра  $h_{рт}$ . Определить: 1) время выравнивания уровней, считая глубину заполнения левой половины  $h_1$  и перепад давлений постоянными, а возвышение центра насадка над дном резервуара  $h$ ; 2) как изменится время выравнивания уровней, если на свободные поверхности в обеих половинах резервуара будет действовать нормальное атмосферное давление.

6.6. Из резервуара (схема 6.3) в атмосферу вытекает вода при постоянном напоре  $h_1$  через круглое отверстие в тонкой стенке и один из видов насадка. Диаметр отверстия  $d_1$  и выходной диаметр насадка  $d_n$  равны. Определить: 1) суммарный расход из резервуара, если абсолютное давление на поверхности воды в резервуаре  $p_{абс}$  2) во сколько раз расходы отверстия и насадка отличаются друг от друга.

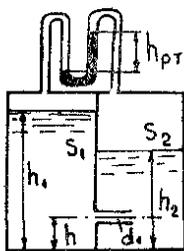
Таблица 6.1 – Исходные данные к решению задач 6.1 – 6.11

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр, мм						
$d_1$	50	40	61	45	75	55
$d_2$	32	25	37	25	45	40
Величина, м						
$h_1$	1,0	0,5	0,7	0,3	0,6	1,3
$h_2$	2,5	3,0	5,0	4,1	3,7	5,3
$h$	1,2	1,0	2,4	0,9	1,1	1,5
$h_{рт}$	0,2	0,1	0,3	0,15	0,22	0,25
Расход $Q$ , л/с	3,1	2,7	4,0	2,8	5,2	2,5
Площадь, м <sup>2</sup>						
$S_1$	2,3	2,0	4,0	1,5	2,1	2,0
$S_2$	1,7	3,0	4,0	1,7	1,7	1,9
Давление, мПа						
$P_{абс}$	0,2	0,1	0,07	0,3	0,08	0,15
$P_в$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,015
Виды насадков:						
внешний цилиндрический	+	-	-	-	+	-
внутренний цилиндрический	-	-	+	-	-	-
конический сходящийся	-	-	-	-	-	-
коноидальный	-	+	-	+	-	+

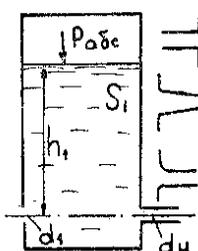
Варианты схем и исходных данных к задачам по теме «Истечение жидкости через отверстия и насадки»



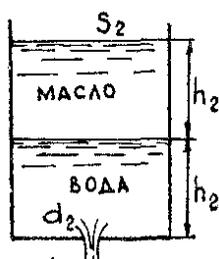
6.1



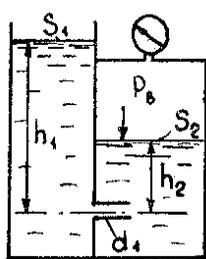
6.2



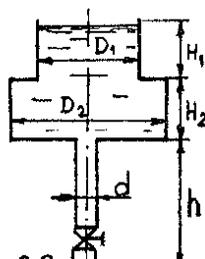
6.3



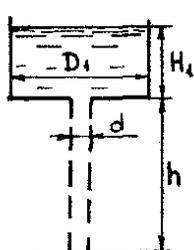
6.4



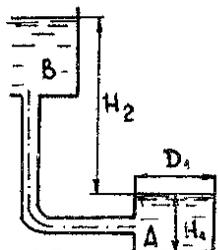
6.5



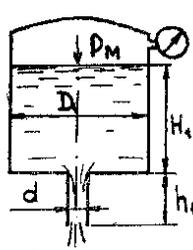
6.6



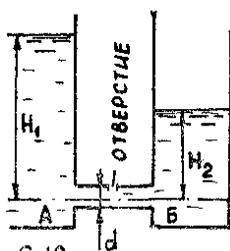
6.7



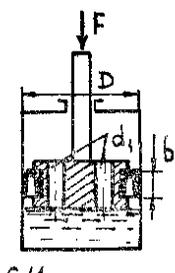
6.8



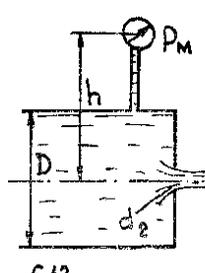
6.9



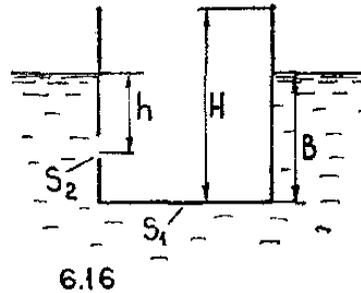
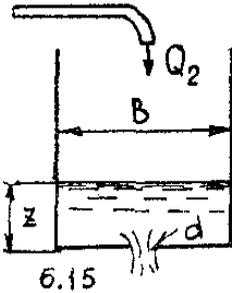
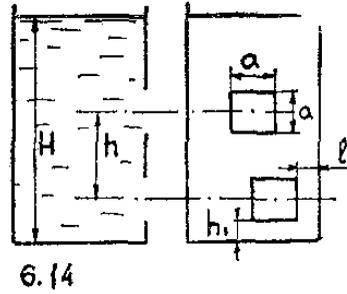
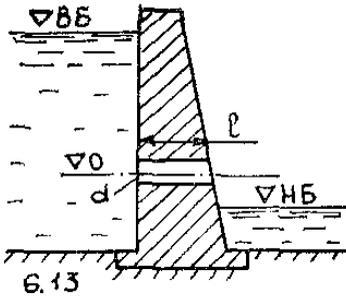
6.10



6.11



6.12



6.7. Опорожнение резервуара (схема 6.3) с постоянной площадью зеркала  $S_1$  происходит одновременно через отверстие в тонкой стенке и одного из видов насадок, причем выходные диаметры их равны  $d_1 = d_n$ . Определить: 1) через какое время уровень воды в резервуаре снизится до центра отверстия и насадка, если абсолютное давление на поверхности в резервуаре  $p_{абс}$  будет постоянным; 2) какое абсолютное давление необходимо поддерживать в резервуаре, чтобы время опорожнения уменьшилось в два раза.

6.8. Определить начальную скорость истечения жидкости из сосуда (схема 6.4), заполненного слоями воды и масла с плотностью  $\rho_m = 800 \text{ кг/м}^3$  одинаковой высоты  $h_2$ .

Сравнить полученный результат с начальной скоростью истечения при заполнении сосуда только, водой или только маслом до уровня  $2h_2$ .

6.9. Цилиндрический резервуар (схема 6.4.) с площадью зеркала  $S_2$  заполнен слоями воды и масла одинаковой толщины  $h_2$ . Определить, за какое время произойдет полное опорожнение резервуара через круглое отверстие в дне диаметром  $d_2$ .

6.10. Бензин перетекает из открытого левого бака в закрытый правый бак (схема 6.5). Уровень жидкости в баках и величина вакуума в правом баке поддерживаются постоянными и равными  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $p_v$ . Определить расход бензина через цилиндрический насадок диаметром  $d_1$  и наименьшее абсолютное давление в сжатом сечении внутри насадка.

6.11. Вода перетекает из открытого левого бака в закрытый правый бак (схема 6.5) через один из видов насадок с выходным диаметром  $d_1$ . Первоначальные уровни в баках  $h_1$  и  $h_2$ , а площади зеркал  $S_1$  и  $S_2$ . Определить: 1) время выравнивания уровней в обоих баках, если уровень в левом баке и величина вакуума в правом баке поддерживаются постоянными; 2) как изменится время выравнивания уровней, если истечение происходило бы через отверстие в тонкой стенке.

6.12. Определить время опорожнения составного цилиндрического резервуара с водой размерами  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  через вертикальную трубу высотой  $h$  и диаметром  $d$  (схема 6.6) при открытом вентиле с коэффициентом сопротивления  $\xi = 5$ . Коэффициент сопротивления трения в трубе принять равным  $\lambda = 0,03$ .

6.13. Из составного цилиндрического резервуара (схема 6.6) с размерами  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  через вертикальную трубу высотой  $h$  и диаметром  $d$  при открытом вентиле с коэффициентом  $\xi = 4,0$  вытекает вода в атмосферу. Коэффициент сопротивления трения в трубе принять равным  $\lambda = 0,028$ . Определить: 1) расход воды из трубы, считая уровень в резервуаре постоянным; 2) как изменится расход воды, если истечение из данного резервуара будет происходить через внешний цилиндрический насадок длиной  $l_n = 4d$ .

6.14. Определить высоту сливной трубы  $h$ , при которой опорожнение цилиндрического бака (схема 6.7) диаметром  $D_1$  будет происходить в два раза быстрее, чем через отверстие такого же диаметра. Начальное заполнение бака  $H_1$ , диаметр отверстия  $d$ , его коэффициент расхода  $\mu_0 = 0,62$ . Коэффициент сопротивления трения в трубе принять равным  $\lambda = 0,03$ .

Таблица 6.2 – Исходные данные к решению задач 6.12 – 6.19

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр, м						
$D_1$	1,5	2,0	1,0	2,3	1,7	1,1
$D_2$	2,2	1,6	2,0	2,5	1,0	2,0
$d$	0,06	0,05	0,075	0,1	0,05	0,06
Высота, м						
$H_1$	2,4	2,8	3,2	4,0	2,3	4,0
$H_2$	3,0	2,3	4,0	6,0	5,3	6,1
$h$	2,0	1,5	3,0	4,0	3,0	1,5
$h_1$	0,2	0,175	0,25	0,4	0,2	0,22

6.15. Цилиндрический бак А (схема 6.8) диаметром  $D_1$  и высотой  $H_1$  заполняется бензином из центрального бензинохранилища В, уровень в котором постоянен и равен  $H_2$ . Заполнение происходит через гибкий шланг длиной  $l = 2H_2$ , выходное сечение которого находится на середине высоты бака.

Определить диаметр шланга  $d$ , при котором бак будет заполняться в заданное время  $T = 15$  мин, приняв коэффициент сопротивления трения в шланге  $\lambda = 0,05$ ; местными потерями в шланге пренебречь.

6.16. Из цилиндрического бака (схема 6.7) диаметром  $D_1$  при постоянном напоре  $H_1$  вода вытекает в атмосферу через круглое отверстие в дне диаметром  $d$ . Определить: 1) расход воды через отверстие; 2) как изменится расход, если к отверстию присоединить сливную трубу высотой  $h$  и такого же диаметра  $d$ . Коэффициент сопротивления трения принять равным  $\lambda = 0,03$ , местными сопротивлениями пренебречь.

6.17. Какое избыточное давление  $p_m$  воздуха нужно поддерживать в баке (схема 6.9), чтобы его опорожнение происходило в два раза быстрее, чем при атмосферном давлении над уровнем воды; каким будет при этом время опорожнения бака? Диаметр бака  $D_1$ , его начальное заполнение  $H_1$ . Истечение происходит через цилиндрический насадок диаметром  $d$  и высотой  $h_1$ , коэффициент которого  $\mu = 0,82$ .

6.18. Из цилиндрического резервуара диаметром  $D_1$  и постоянным уровнем воды  $H_1$  (схема 6.9) происходит истечение через

внешний цилиндрический насадок диаметром  $d$  и высотой  $h_1$ . Какое манометрическое давление  $p_m$  необходимо поддерживать на поверхности воды в баке, чтобы расход из насадка увеличился в 1,5 раза по сравнению с истечением при атмосферном давлении на поверхности воды. Определить величину вакуума в сжатом сечении насадка в обоих случаях.

Таблица 6.3 – Исходные данные к решению задач 6.20 – 6.21

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр, мм						
$D$	200	250	150	300	225	350
$d_1$	10	12	8	15	10	16
$d_2$	120	100	75	150	100	150
Сила, $F$ , кН	120	150	100	175	200	150
Высота $h$ , м	1,3	1,8	0,7	2,4	0,5	1,2
Ширина $b$ , мм	20	25	15	25	20	22
Коэффициент, $f$	0,15	0,13	0,14	0,13	0,17	0,16
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	865	900	870	850	900	870
Давление $p_m$ , МПа	0,1	0,2	0,15	0,3	0,25	0,4
Насадки:						
внешний цилиндрический	+	-	-	-	+	-
внутренний цилиндрический	-	+	-	-	-	+
конический сходящийся	-	-	+	-	-	-
коноидальный	-	-	-	+	-	-

6.19. Вода перетекает из сосуда А в сосуд Б (схема 6.10) через внешний цилиндрический насадок диаметром  $d_1$  имеющий сверление. При заданном уровне  $H_1$  в резервуаре А определить уровень  $H_2$ , при котором протекающая по насадку вода не будет выливаться через сверление, а атмосферный воздух не будет засасываться внутрь насадка.

6.20. Определить скорость перемещения поршня гидротормоза (схема 6.11) диаметром  $D$ , нагруженного силой  $F$ , если перетекание

из одной полости цилиндра в другую происходит через два отверстия в поршне, диаметр которых  $d_1$ . Коэффициент расхода отверстий принять  $\mu = 0,6$ , плотность жидкости  $\rho$ . Коэффициент трения в манжете поршня шириной  $b$  равен  $f$ .

6.21. Определить расход воды через отверстие с острой кромкой диаметром  $d_2$ , выполненное в торце трубы (схема 6.12) диаметром  $D$ , если показание манометра перед отверстием  $p_m$  и высота расположения манометра над осью трубы  $h$ . Как изменится расход, если к отверстию присоединить один из насадков?

6.22. В теле железобетонной плотины (схема 6.13) проектируется водовыпуск в виде трубы длиной  $l$ . Условные геодезические отметки оси водовыпуска  $\nabla_0$ , поверхности воды в верхнем бьефе –  $\nabla_{вб}$ , поверхности воды в нижнем бьефе –  $\nabla_{нб}$ . Определить диаметр  $d$  водовыпуска, если он должен пропустить расход  $Q$ . Установить, какой будет расход через водовыпуск, если уровень нижнего бьефа поднимется на высоту  $h$ .

Таблица 6.4 – Исходные данные к решению задачи 6.22

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Длина $l$ , м	10	12	6	19	13	27
Условные геодезические отметки, м						
$\nabla_0$	17	94	36	10	66	100
$\nabla_{вб}$	25	102	41	22	71	108
$\nabla_{нб}$	14	91	33	3	60	94
Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с	12	0,8	2,3	21	7,4"	6,1
Высота $h$ , м	6	11	4	14	10	5

6.23. Два одинаковых квадратных отверстия размерами  $a \times a$  расположены в вертикальной стенке резервуара (схема 6.14). Расстояние между центрами отверстий  $h$ , нижнее отверстие расположено на расстоянии  $h_1$  от дна резервуара и  $l$  от боковой стенки. Определить, при какой глубине  $H$  воды в резервуаре суммарный расход из обоих отверстий составит  $Q_1$ .

6.24. В первоначально пустой бак (схема 6.15) квадратного сечения с размерами  $b \times b$  подается постоянное количество воды  $Q_2$ .

Одновременно происходит вытекание поступающей воды через донное отверстие диаметром  $d$  и коэффициентом расхода  $\mu = 0,6$ . Определить: 1) каков предельный уровень  $Z_{\max}$ , отвечающий установившейся работе системы; 2) какое время требуется для того, чтобы разность между  $Z_{\max}$  и текущим уровнем  $Z$  стала равна  $\Delta Z = 0,1$  м.

Таблица 6.5 – Исходные данные к решению задач 6.23 – 6.25

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Расход, л/с						
$Q_1$	23	20	15	31	26	19
$Q_2$	2,0	3,0	1,5	2,7	1,9	2,4
Размер, м						
$H$	2,0	2,3	1,7	2,4	1,5	2,9
$h$	0,5	0,6	1,0	0,7	0,8	0,75
$h_1$	0,2	0,3	0	0	0,15	0,4
$l$	0,3	0	0,2	0	0,4	0,1
$a$	0,05	0,04	0,03	0,1	0,07	0,06
$b$	1,0	0,8	1,2	1,5	2,0	1,7
Площадь, м <sup>2</sup>						
$S_1$	25	30	50	22	19	25
$S_2$	20	25	17	22	14	30
Диаметр $d$ , мм	30	40	25	32	30	30

6.25. Определить время затопления тонкостенного понтона (схема 6.16) призматической формы после получения им бортовой пробоины на глубине  $h$ . Площадь пробоины  $S_2$ , ее коэффициент расхода  $\mu = 0,6$ . Размеры понтона следующие: высота –  $H$ , площадь дна –  $S_1$ , начальное погружение понтона в воду –  $b$ .

## 7. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Для нормальной эксплуатации водопроводной сети на ней устанавливается, различного рода запорно-регулирующая (задвижки, вентили), водозаборная (колонки, краны, гидранты) и предохранительная (клапаны, вантузы) арматура.

Большое повышение давления в трубопроводе, вызванное резким изменением скорости движения жидкости из-за полного, или частичного закрытия установленного на нем затвора, включения или выключения насоса, называется гидравлическим ударом.

Большое повышение давления в трубопроводе при гидравлическом ударе может привести к разрыву стыковых соединений, арматуры, стенок трубопровода. Поэтому проектирование, и эксплуатацию водопроводной сети необходимо осуществлять с учетом влияния гидравлического удара.

При расчете повышения давления при гидравлическом ударе необходимо, прежде всего, выяснить вид удара (прямой или непрямой), так как определяется оно по разным зависимостям.

Для изучения темы рекомендуется следующая литература: [1, с. 163 – 176; 2, с. 104 – 105; 4, с. 106 – 109].

### Задачи

Исходные данные для решения задач представлены на схеме 7.1 и в табл. 7.1 – 7.3.

7.1 – 7.5. По стальному трубопроводу с толщиной стенок  $\delta$ , диаметром  $d$  и длиной  $l$  подается вода с расходом  $Q$ . Определить повышение давления  $\Delta p$  у задвижки, которая установлена в конце трубопровода (схема 7.1), если время ее закрытия составит  $t_3$ .

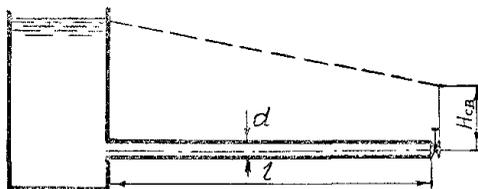


Схема 7.1 – Расчетная схема к задачам по теме «Расчет трубопроводов в условиях гидравлического удара»

Таблица 7.1 – Исходные данные к решению задач 7.1 – 7.10

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр трубопровода $d$ , мм	900	1000	1200	1300	1400	1100
Длина трубопровода $l$ , м	6000	4000	5000	3000	7000	2000
Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с	1,0	1,8	1,6	2,0	1,8	1,2
Толщина стенок трубопровода $\delta$ , мм	16	20	18	40	12	40
Время закрытия задвижки $t_3$ , с	0	2	4	6	8	10
Материал трубопровода	Сталь	Асбестоцемент	Чугун	Полиэтилен	Сталь	Железобетон
Повышение давление $\Delta p$ , кПа	490	392	294	245	196	490

Таблица 7.2 – Исходные данные к решению задач 7.11 – 7.15

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Длина трубопровода $l$ , м	1000	800	1200	1100	900	600
Диаметр трубопровода $d$ , мм	100	75	125	100	75	50
Время закрытия задвижки $t_3$ , с	2	4	6	6	4	2
Повышение давление в трубопроводе $\Delta p$ , кПа	490,5	294,3	196,2	245,2	274,3	392,4
Толщина стенок трубопровода $\delta$ , мм	6	8	10	40	30	12
Материал трубопровода	Сталь	Сталь	Чугун	Железобетон	Полиэтилен	Сталь

7.6 – 7.10. По трубопроводу с толщиной стенок  $b$ , диаметром  $d$  и длиной  $l$  подается нефть с расходом  $Q$ . Определить время закрытия задвижки  $t_3$  в конце трубопровода (схема 7.1), чтобы повышение давления составило  $\Delta p$ .

7.11 – 7.15. В результате закрытия задвижки за время  $t_3$  на конце трубопровода (схема 7.1) диаметром  $d$  и длиной  $l$  произошло повышение давления на  $\Delta p$ . Определить начальную скорость  $v_0$  движения воды в трубопроводе, если толщина стенок его  $\delta$ .

7.16 – 7.20. Определить необходимую толщину стенок трубопровода при гидравлическом ударе в результате мгновенного закрытия затвора, по которому подается вода с расходом  $Q$ , если его диаметр  $d$  и длина  $l$ . Свободный напор в конце трубопровода составляет  $H_{св}$ .

7.21 – 7.25. Определить напряжение в стенках трубопровода диаметром  $d$  и длиной  $l$  в результате гидравлического удара при мгновенном закрытии затвора (схема 7.1), если по трубопроводу подается нефть с расходом  $Q$ , а толщина стенок его равна  $\delta$ .

Таблица 7.3 – Исходные данные к решению задач 7.16 – 7.25

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Длина трубопровода $l$ , м	8000	6000	7000	5000	12000	10000
Диаметр трубопровода $d$ , мм	400	500	300	500	300	400
Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с	0,20	0,30	0,25	0,35	0,20	0,35
Свободный напор $H_{св}$ , м	40	30	20	10	25	20
Толщина стенок трубопровода $\delta$ , мм	15	20	30	15	25	30
Материал трубопровода	Сталь	Чугун	Железобетон	Чугун	Полиэтилен	Асбестоцемент

## 8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДЛИННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

К гидравлически длинным относятся такие трубопроводы, в которых потери удельной энергии на местные сопротивления составляют около 5...10% от потерь по длине потока. При этом их либо вовсе не учитывают, либо учитывают путем увеличения потерь удельной энергии по длине трубопровода на 5...10%. Гидравлически длинными трубопроводами считают различные магистральные трубопроводы, нефтепроводы и газопроводы, наружные водопроводные сети и др.

В связи с упрощением гидравлического расчета длинных трубопроводов и рядом принятых допущений, значительно не влияющих на достоверность конечного результата, методика их расчета существенно отличается от методики для гидравлически коротких трубопроводов. Расчетной формулой гидравлически длинного трубопровода является формула Дарси-Вейсбаха, которая легко трансформируется в формулу Шези [1, с. 258]. Учитывая, что движение воды в длинных трубопроводах чаще всего происходит в квадратичной зоне сопротивления, формула Шези примет вид

$$Q = \Theta_1 k_{\text{еа}} \sqrt{\frac{h_{\text{ае}}}{\lambda}} \quad (8.1)$$

Откуда

$$h_{\text{ае}} = \frac{\Theta_1 Q^2 l}{k_{\text{еа}}^2} = \Theta_1 Q^2 A_{\text{еа}} L \quad (8.2)$$

где  $\Theta_1 = \sqrt{\frac{\lambda_{\text{еа}}}{\lambda}}$ ;  $\Theta^2 = \Theta_1^{-2}$  – коэффициенты, учитывающие зону сопротивления. Для водопроводов они приводятся в [1, табл. П. IV; 5, с. 118] в зависимости от средней скорости движения жидкости и материала трубопровода;

$k_{\text{еа}} = \tilde{N}_{\text{еа}} \omega \sqrt{R}$  – расходная характеристика, соответствующая квадратичной зоне сопротивления;

$A_{\text{ea}} = 1000 / k_{\text{ea}}^2$  – удельное сопротивление трубопровода на один

километр его длины.

Значения  $k_{\text{KB}}$  и  $A_{\text{KB}}$  приводятся в [1, табл. П. V; 5, с. 116];  
 $l, L$  – длина трубопровода соответственно в метрах и километрах. Обозначение остальных величин общеизвестно. Значение скорости  $v_{\text{KB}}$ , при превышении которой наступает квадратичная область сопротивления, приводится в [1, с. 163 – 176; 5, с. 118]. В практике, кроме транзитного расхода, водоразбор может производиться и по длине трубопровода. При расчете таких трубопроводов вводится понятие о расчетном расходе [1, с. 265]:

$$Q_{\text{дан}} = Q + 0,55 Q_1, \quad (8.3)$$

где  $Q_n$  – непрерывно изменяемый (путевой) расход трубопровода.

Для гидравлически длинных трубопроводов, в зависимости от условий применения и их назначения, можно выделить три основных типа задач, условия которых аналогичны, как и для гидравлически коротких трубопроводов (см. п. 5). Особенность методики решения этих задач для длинных трубопроводов заключается в применении вышеуказанных таблиц.

Теоретические вопросы по гидравлическому расчету длинных трубопроводов при последовательном, параллельном или смешанном соединении труб достаточно полно изложены в [1, с. 261 – 263]. Практическое применение гидравлических расчетов длинных трубопроводов при решении задач приводятся в [3, с. 113 – 137; 4, с. 81 – 94].

### Задачи

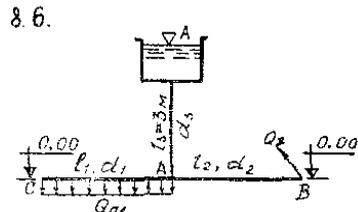
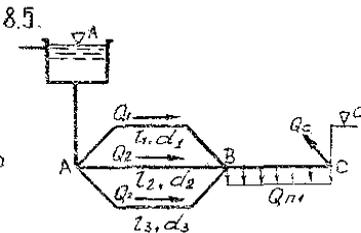
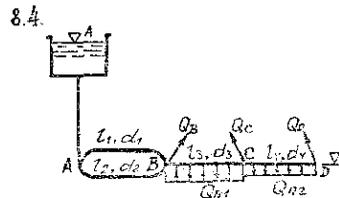
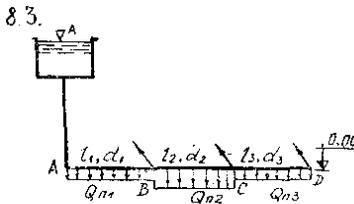
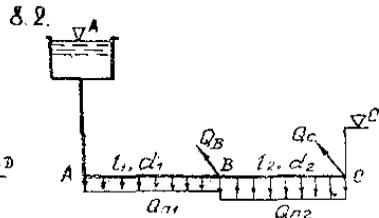
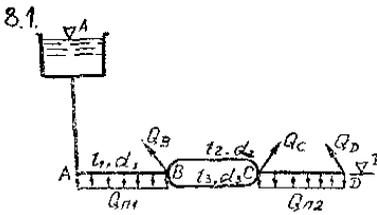
Исходные данные для решения задач представлены на схемах 8.1 – 8.9 и в табл. 8.1.

8.1. Определить отметку уровня воды в напорном баке А для трубопровода с параллельным и последовательным соединением труб для пропускания расходов  $Q_{\text{п1}}, Q_{\text{в}}, Q_{\text{д}}$  при размерах трубопровода:  $h_1, l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3, d_4$  (схема 8.1). Трубы новые чугунные, а отметка трубопровода в конечном пункте  $D$  равна  $\nabla^D$ .

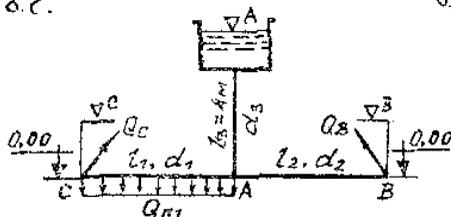
8.2. Выполнить требование задачи 8.1 для пропуска расходов  $Q_{п2}$ ,  $Q_C$ ,  $Q_D$  при размерах трубопровода:  $l_1, l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3, d_4$  (схема 8.1). Трубы новые стальные, а отметка трубопровода в конечном пункте  $D$  равна  $\nabla^D$ .

8.3. Выполнить требование задачи 8.1 для пропуска расходов  $Q_{п1}$ ,  $Q_{п2}$ ,  $Q_D$  при размерах трубопровода:  $l_1, l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3, d_4$  (схема 8.1). Трубы нормальные, а отметка трубопровода в конечном пункте  $D$  равна  $\nabla^D$ .

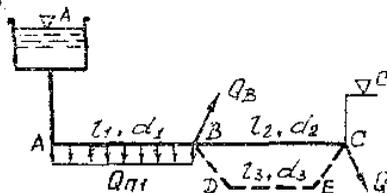
Варианты схем и исходных данных  
к гидравлическому расчету длинных трубопроводов



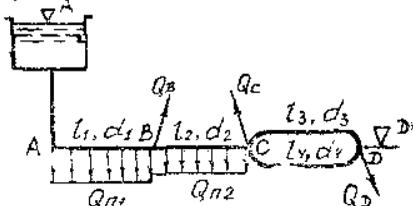
8.7.



8.8.



8.9.



8.4. Определить напор в точке В и узловой расход в точке С горизонтального нового стального трубопровода (схема 8.2), состоящего из двух последовательных участков с размерами  $l_1, l_2, d_1, d_2$  при отметках пьезометрического напора  $\nabla^A$  и  $\nabla^C$ , если на участках АВ и ВС непрерывно изменяемые расходы  $Q_{n1}$  и  $Q_{n2}$ .

8.5. Определить напор и расход в точке В горизонтального нового чугунного трубопровода (схема 8.2), состоящего из двух последовательных участков с размерами  $l_1, l_2, d_1, d_2$  при отметках пьезометрического напора  $\nabla^A$  и  $\nabla^C$ , если на участках АВ и ВС непрерывно изменяемые расходы  $Q_{n1}$  и  $Q_{n2}$ .

8.6. Выполнить требование задачи 8.4 для трубопровода, показанного на схеме 8.2, если на участке АВ непрерывно изменяемый расход  $Q_{n1}$  и узловой расход в точке В равен  $Q_B$ . Трубы нормальные.

8.7. Выполнить требование задачи 8.4 для трубопровода, показанного на схеме 8.2, если на участке ВС непрерывно изменяемый расход  $Q_{n2}$  и узловой расход в точке С равен  $Q_C$ . Трубы новые чугунные.

8.8. Для трех последовательно соединенных участков труб (схема 8.3) определить:

1) отметку уровня воды в водонапорной башне при размерах труб  $l_1, l_2, l_3, d_1, d_2, d_3$ , если непрерывно изменяемые расходы  $Q_{n1}, Q_{n2}, Q_{n3}$  и узловые расходы  $Q_B$  и  $Q_C$ ;

2) диаметр трубы на участке АВ, если отметку уровня воды в водонапорной башне уменьшить на 2 м, а диаметры  $d_2$ ,  $d_3$  и все расходы остаются без изменений. Трубы новые стальные.

8.9. Выполнить требование задачи 8.8 (схема 8.3) По первому вопросу, если непрерывно изменяемые расходы  $Q_{п1}$ ,  $Q_{п2}$  и узловые расходы  $Q_B$  и  $Q_D$ . Определить диаметр трубы на участке ВС, если отметку уровня воды в водонапорной башне увеличить на 3 м, а диаметры  $d_1$ ,  $d_3$  и все расходы остаются без изменений. Трубы новые чугунные.

8.10. Выполнить требование задачи 8.8 (схема 8.3) по первому вопросу, если непрерывно изменяемые расходы  $Q_{п2}$ ,  $Q_{п3}$  и узловые расходы  $Q_C$  и  $Q_D$  Определить диаметр трубы на участке CD, если отметку уровня воды в водонапорной башне, увеличить на 5 см, а диаметры  $d_1$  и  $d_2$  и все расходы остаются без изменения. Трубы нормальные.

8.11. Определить отметку уровня воды в водонапорной башне, необходимую для пропуски по трубопроводу (схема 8.4) с параллельным и последовательным соединением труб расходов  $Q_{п1}$ ,  $Q_{п2}$ ,  $Q_C$  при их размерах  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ , если трубы стальные новые, отметка трубопровода в точке D равна  $\nabla^D$ .

8.12. Выполнить требование задачи 8.11, если расходы в трубопроводе  $Q_{п1}$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$ ,  $Q_D$  (схема 8.4). Трубы новые чугунные, отметка трубопровода в точке D равна  $\nabla^D$ .

8.13. Выполнить требование задачи 8.11, если расходы в трубопроводе  $Q_{п2}$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$ ,  $Q_D$  (схема 8.4). Трубы нормальные, отметка трубопровода в точке D равна  $\nabla^D$ .

8.14. В новом стальном трубопроводе с параллельным и последовательным соединением труб (схема 8.5), длины которых  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$  и диаметры  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  определить расходы на участках 1, 2, 3 и отметку пьезометрического напора в точке А, если отметка пьезометрического напора в точке С равна  $\nabla^C$  и известны расходы  $Q_{п1}$  и  $Q_C$ .

8.15. Для условий задачи 8.14 (схема 8.5) определить расходы на участках 1, 2 и  $Q_C$ , отметку пьезометрического напора в точке А, если известны расход в третьей ветви  $Q_3 = Q_B$  и отметка пьезометрического напора в точке С равна  $\nabla^C$ .

8.16. Определить отметку уровня воды в водонапорной башне и расход  $Q_B$  при размерах труб  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , показанных на схеме 8.6,

если непрерывно изменяемый расход по длине ветви АС равен  $Q_{п1}$ . Трубы новые стальные.

8.17. Из водонапорной башни по трубам вода поступает в узловые точки В и С (схема 8.7). Определить отметки пьезометрического напора в этих точках при размерах труб  $h_1, h_2, d_1, d_2, d_3$  и расходах  $Q_B, Q_C$  и  $Q_{п1}$ , если отметка свободной поверхности в водонапорной башне  $\nabla^A$ . Трубы нормальные.

8.18. Какой напор необходимо создать в начале горизонтального нового стального трубопровода длиной  $h_1$  и диаметром  $d_1$  для пропуска расходов  $Q_B$  и  $Q_{п1}$  при свободном напоре в конце трубопровода  $H_{св} = 15$  м? Как изменится напор в начале трубопровода, если для пропуска того же расхода параллельно основному трубопроводу будет уложен дополнительный новый чугунный трубопровод диаметром  $d_2$  той же длины? При необходимости часть непрерывно изменяемого расхода  $Q_{п1}$  можно пропускать по второй ветви трубопровода.

8.19. По новому стальному трубопроводу диаметром  $d_1$ , необходимо подавать воду в количестве  $Q_B$  и  $Q_{п1}$  на расстояние  $h_1$ . Определить, как изменится пропускная способность трубопровода при полученном напоре, если вместо запроектированных будет уложено  $h_1/2$  труб диаметром  $d_1 + 25$  мм и  $h_1/2$  труб диаметром  $d_1 - 25$  мм.

8.20. Вода по горизонтальному новому чугунному трубопроводу, состоящему из двух последовательных участков труб с размерами  $h_1, h_2, d_1, d_2$ , подается в узловые точки В и С в количестве  $Q_B, Q_C$  и непрерывно распределяется по участку АВ в количестве  $Q_{п1}$ . Определить необходимое давление насоса, если свободный напор в конце трубопровода  $H_{св} = 15$  м. Как изменится давление насоса, если расход в узловой точке В  $Q_B$  уменьшить и одновременно в точке С  $Q_C$  увеличить на 5 л/с?

8.21. Из водонапорной башни, отметка свободной поверхности которой  $\nabla^A$ , вода по трубопроводу, состоящему из двух последовательно соединенных участков труб с размерами  $h_1, h_2, d_1, d_2$  (схема 8.8), в количестве  $Q_C$  подается в пункт С на отметку  $\nabla^C$ . Данный трубопровод не обеспечивает пропуск заданных расходов  $Q_B, Q_C, Q_{п1}$ .

Определить диаметр  $d_3$  дополнительной трубы ВДЕ длиной  $h_3$ , проложенной параллельно второму участку, чтобы при расчетных отметках трубопровод обеспечивал бы подачу заданных расходов. Трубы нормальные.

8.22. Определить величину расхода  $Q$  в горизонтальном новом чугунном трубопроводе, состоящем из трех последовательно соединенных участков труб размерами  $l_1, l_2, l_3, d_1, d_2, d_3$ , при напоре  $H$ .

Как изменится величина напора при полученном расходе  $Q$ , если заданные участки труб соединить параллельно?

8.23. Определить отметку уровня воды в водонапорной башне  $\nabla^A$  для трубопровода с параллельным и последовательным соединением труб для пропуска расходов  $Q_B, Q_C, Q_D, Q_{п1}, Q_{п2}$  при размерах труб  $l_1, l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3, d_4$  (схема 8.9), если трубы новые стальные, а отметка пьезометрической линии в конечном пункте  $D$  равна  $\nabla^D$ .

8.24. Выполнить требование задачи 8.23 для трубопровода, показанного на схеме 8.9, если на участке АВ непрерывно изменяемый расход  $Q_{п1}$  и узловые расходы равны  $Q_B$ , и  $Q_D$ . Трубы новые чугунные.

8.25. Выполнить требование задачи 8.23 для трубопровода, показанного на схеме 8.9, если на участке ВС непрерывно изменяемый расход  $Q_{п2}$  и узловые расходы равны  $Q_C$  и  $Q_D$ . Трубы нормальные.

Таблица 8.1 – Исходные данные к решению задач 8.1 – 8.25

Наименование исходных величин		Номера вариантов					
		1	2	3	4	5	6
Длина участков трубопровода, м	$l_1 = l_4$	150	180	210	240	270	300
	$l_2$	120	140	160	180	200	220
	$l_3$	300	270	240	210	180	150
Диаметры участков трубопровода, мм	$d_1$	100	125	150	200	250	300
	$d_2$	75	100	125	150	175	200
	$d_3 = d_4$	50	75	100	125	150	175
Узловой расход, л/с	$Q_B$	5	6	9	16	25	40
	$Q_C$	4	7	8	14	26	35
	$Q_D$	3	4	5	15	20	30
Непрерывно изменяемый (путевой) расход, л/с	$Q_{п1} = Q_{п3}$	4	5	6	7	8	9
	$Q_{п2}$	2	4	6	8	10	12
Отметка в узловой точке трубопровода, м	$\nabla^A$	22	24	26	28	30	32
	$\nabla^C = \nabla^D$	2	4	6	8	10	12
Напор трубопровода $H$ , м		15	18	21	24	27	30

## 9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Сложные трубопроводы применяются в системах водоснабжения, орошения и других системах, обеспечивающих подачу жидкости нескольким потребителям, расположенным в разных местах. Исходные параметры для расчета их получают в размерах трассировки сетей и на основе существующих норм расхода жидкости потребителями. К ним относятся длины  $L_i$  отдельных участков сети, т.е. линий между узловыми точками; геодезические отметки  $\nabla_i$  поверхности и расходы  $Q_i$  в узловых точках, а также путевые расходы  $Q_{\text{пi}}$  на участках (если они имеются); минимальные свободные напоры в концевых точках сети  $h_{\text{св. min}}$ .

При расчетах разветвленного трубопровода возможны два характерных типа задач. Первый тип возникает при проектировании самостоятельной (автономной) системы, когда отметка пьезометрической линии в начальном узле разветвленного трубопровода (отметка уровня воды в резервуаре водонапорной башни, пьезометрического напора в гидроаккумуляторе водоподъемной установки или на выходе насосной станции) не известна. Задача принадлежит ко второму типу, если эта отметка известна, т.е. в случаях, когда проектируемый трубопровод присоединяется к уже существующей системе. Методики решения обоих типов задач изложены в достаточной мере в учебнике [1]. Необходимые справочные материалы можно найти в [1, 5 и др.]. Для изучения темы рекомендуется [1, с. 272 – 279; 3, с. 128 – 138; 4, с. 94 – 106].

### Задачи

9.1 – 9.10. По одной из схем 9.1 – 9.10 и варианту исходных параметров (табл. 9.1), заданных преподавателем, выполнить гидравлический расчет разветвленного трубопровода, являющегося составной частью проектируемой автономной системы сельскохозяйственного водоснабжения.

Требуется определить расчетные расходы, экономически целесообразные диаметры труб, потери напора на всех участках (между узловыми точками); проверить и обеспечить заданную достаточность свободных напоров в узловых точках; вычислить свободный

напор в начальном узле Б трубопровода (уровень воды в водонапорной башне или пьезометрический напор в гидроаккумуляторе водоподъемной установки).

Варианты схем и исходных данных  
к гидравлическому расчету разветвленного трубопровода

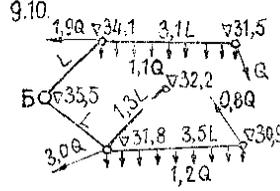
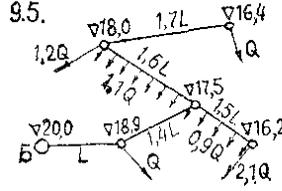
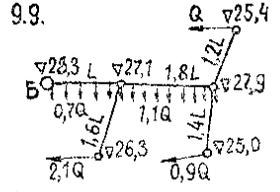
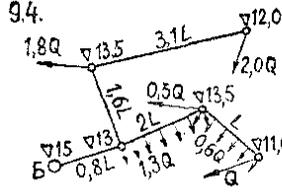
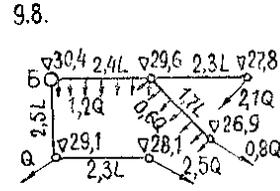
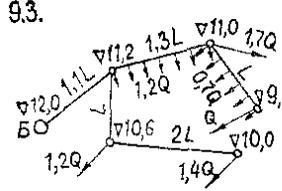
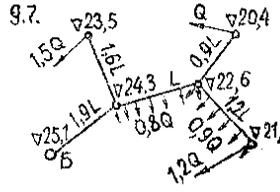
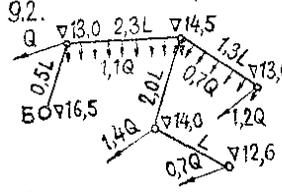
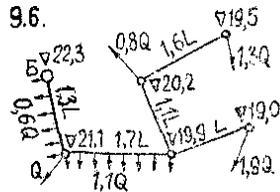
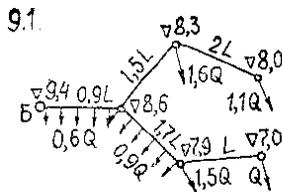


Таблица 9.1 – Исходные данные к решению задач 9.1 – 9.10

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Расход $Q$ , л/с	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Длина участка $L$ , м	160	150	140	130	120	110
Минимально допустимый свободный напор в узловых точках $h_{св.мин}$ , м	10	10	12	12	14	14
Материал труб	Полиэтилен	Полиэтилен	Чугун	Чугун	Сталь	Сталь

9.11 – 9.15. По одной из схем 9.11 – 9.15 и варианту исходных параметров (табл. 9.2), заданных преподавателем, выполнить гидравлический расчет разветвленного трубопровода, являющегося составной частью проектируемой системы орошения с применением дождевальных машин кругового действия ДМУ «Фрегат» и фронтального действия.

ДКШ «Волжанка» соответствующих модификаций. Различием в геодезических отметках на гидрантах, к которым подключаются машины, пренебречь.

Требуется определить расчетные расходы, экономически целесообразные диаметры труб, потери напора на всех участках (между узловыми точками); проверить и обеспечить условия получения заданных свободных напоров на гидрантах; вычислить свободный напор в начальном узле  $H$  трубопровода (напор на выходе насосной станции).

Варианты схем и исходных данных  
к гидравлическому расчету разветвленного трубопровода

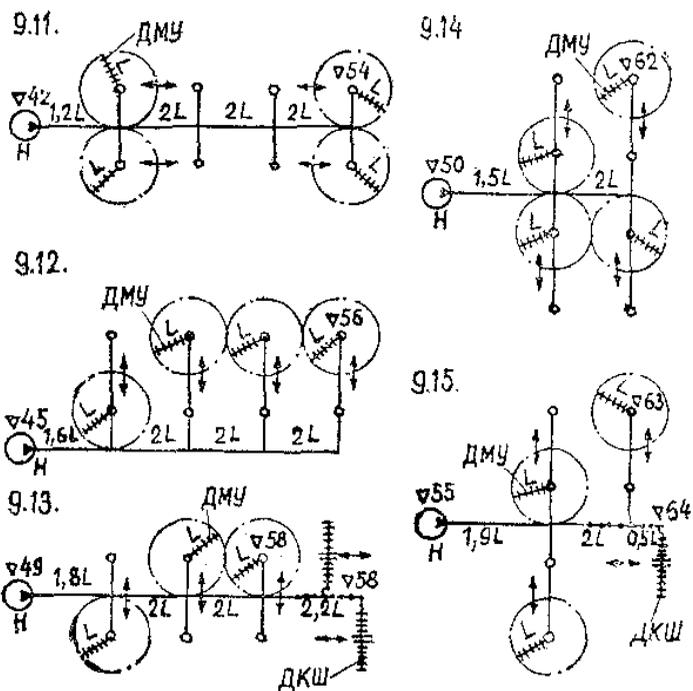


Таблица 9.2 – Исходные данные к решению задач 9.11 – 9.15

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Параметры применяемой машины ДМУ:						
длина (радиус действия) $L$ , м	307,8	337,4	362,2	391,8	408,8	463,2
расход $Q_{\text{ДМУ}}$ , л/с	30	45	40	50	65	90
напор на гидранте $H_{\text{ДМУ}}$ , м	45	49	48	52	51	60

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Параметры применяемой машины ДКШ:						
расход $Q_{\text{ДКШ}}$ , л/с	24	32	40	48	56	64
напор на гидранте $H_{\text{ДКШ}}$ , м	40	40	40	40	40	40
Материал труб	Полиэтилен	Чугун	Чугун	Сталь	Сталь	Железобетон

9.16 – 9.25. По одной из схем 9.1 – 9.10 и варианту исходных параметров (табл. 9.3), заданных преподавателем, выполнить гидравлический расчет разветвленного трубопровода, подключаемого к существующей системе сельскохозяйственного водоснабжения (известен свободный напор  $h_{\text{св.Б}}$  в начальном узле Б).

Требуется определить расчетные расходы, необходимые диаметры труб, потери напора на всех участках (между узловыми точками); проверить и обеспечить заданную достаточность свободных напоров в узловых точках.

Таблица 9.3 – Исходные данные к решению задач 9.16 – 9.25

Исходные данные	Номера вариантов					
	1	2	3	4	5	6
Расход $Q$ , л/с	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2
Длина участка $L$ , м	150	140	130	120	110	100
Минимально допустимый свободный напор в узловых точках $h_{\text{св.мин}}$ , м	10	10	10	14	14	14
Свободный напор в начальном узле Б трубопровода $h_{\text{св.Б}}$ , м	25	26	28	29	32	30
Материал труб	Полиэтилен	Полиэтилен	Чугун	Чугун	Сталь	Сталь

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов, Н.И. Гидравлика / Н.И. Богомолов, К.А. Михайлов. – М., 1972. – 730 с.
2. Примеры расчетов по гидравлике / А.Д. Альтшуль [и др.] – М.: Стройиздат, 1976. – 255 с.
3. Примеры гидравлических расчетов / А.И. Богомолов [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1977. – 526 с.
4. Сборник задач по гидравлике / В.А. Большаков [и др.] – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1979. – 336 с.
5. Справочное пособие по гидравлике / Я.И. Вильнер [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 382 с.
6. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
7. Константинов, Н.М. Примеры гидравлических расчетов / Н.М. Константинов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 440 с.
8. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / И.И. Куколевский [и др.] – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение.
9. Задачник по гидравлике / А.В. Андреевская [и др.] – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1970. – 568 с.
10. Некрасов, Б.Б. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу / Б.Б. Некрасов. – М.: Высшая школа, 1989. – 192 с.
11. Кисилев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Кисилев. – М.: Энергия, 1974. – 314 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. АБСОЛЮТНОЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ ...	5
2. СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКИЕ, ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ .....	12
3. СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ .....	18
ПОВЕРХНОСТИ .....	18
4. ПРОСТЕЙШИЕ ГИДРОМАШИНЫ. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ .....	23
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОРОТКИХ .....	32
ТРУБОПРОВОДОВ .....	32
6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И .....	39
НАСАДКИ .....	39
7. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ .....	49
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА .....	49
8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДЛИННЫХ .....	52
ТРУБОПРОВОДОВ .....	52
9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ .....	59
ТРУБОПРОВОДОВ .....	59
ЛИТЕРАТУРА .....	64

Учебное издание

ШАТАЛОВ Игорь Михайлович  
КУЛЕБЯКИН Виталий Васильевич  
КОНДРАТОВИЧ Александр Николаевич  
МИХНОВЕЦ Марина Марковна

## МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Методические указания,  
контрольные задачи и задания к курсовой  
и расчетно-графическим работам  
для студентов строительных специальностей

Технический редактор  
Компьютерная верстка

---

Подписано в печать

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100. Заказ 140.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.