

**МИНИСТЕРСТВО ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ  
СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ**

**ИНСТИТУТ ЗАОЧНОГО И ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ И ГИДРАВЛИКИ**

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по учебной дисциплине: Гидрогазодинамика

По направлению «Техносферная безопасность» квалификация «Бакалавр»  
(2 курс, 5 лет обучения)

Контрольная работа состоит из девяти теоретических вопросов и девяти задач. Номера контрольных вопросов и задач выбираются согласно последней цифре номера зачётной книжки слушателя из табл.1. Числовые значения указанных в задаче величин, если для выбора исходных данных предлагается таблица, выбираются по предпоследней цифре номера зачётной книжки. Например, если номер Вашей зачётной книжки 04141, то задание будет следующее: номера контрольных вопросов – 2,8,13,20,16,27,32,39,42; номера задач – 1.4;1.20;1.37;2.18;3.2;4.13;5.5;6.2;7.4.

Для задачи 1.4 задан один вариант значений числовых величин, а для задачи 1.20 исходными значениями будут  $d = 200$  мм;  $D = 300$  мм;  $H = 8$  м;  $h = 1$  м.

На титульном листе контрольной работы необходимо написать «Контрольная работа по дисциплине Гидрогазодинамика» и далее указать фамилию, имя и отчество (полностью), номер зачётной книжки, домашний (или рабочий) адрес, электронную почту, телефон для связи (или любой вид оперативной связи). **Имя электронному файлу присвоить следующим образом: Ф.И.О., номер группы, дисциплина. Например: Иванов А.А., Гр 51145Б, Гидрогазодинамика.**

Тексты контрольных вопросов и условий задач с рисунками и цифровыми значениями исходных данных следует переписывать полностью. Для ответов на контрольные вопросы следует использовать учебник. Допускается использование и другой учебной литературы и монографий, но обязательно со ссылками на эту литературу. **Отвечая на вопросы, не следует переписывать лекционный материал, а надо дать сжатое изложение Вашего понимания сущности вопроса.** При необходимости ответы на вопросы могут сопровождаться схемами или рисунками и ссылками на дополнительную литературу.

При решении задач обязательно приводить рисунки. Рисунок должен быть не просто скопирован, но на нём должны быть все необходимые дополнительные построения и обозначения. Решение задач обязательно должно содержать необходимые пояснения и промежуточные вычисления, выполненные в системе СИ. Рисунки и схемы можно выполнять карандашом, но при построении графиков, пьезометрических линий, огибающих кривых должен быть обязательно указан масштаб.

Контрольная работа оценивается «зачтено», если ответы на вопросы верные и достаточно полные, а решение всех задач выполнено со всеми необходимыми пояснениями и построениями правильно и получен точный численный ответ.

Контрольная работа оценивается «зачтено условно», если имеются неточности в оформлении работы, ответах не более чем на 3 вопроса и неверно решены 3 задачи. В соответствии с замечаниями рецензента уточняются ответы на вопросы, исправляются решения задач.

Контрольная работа оценивается «не зачтено» при наличии ошибок более чем в 3 вопросах и 3 задачах. В этом случае контрольная работа после исправления подлежит повторному рецензированию.

Таблица 1

Номер вариантов контрольных вопросов и задач

Последняя цифра Номера Зачётной книжки	Номера контрольных вопросов									Номера задач								
	0	1	7	12	19	17	26	31	38	41	1.2	1.15	1.34	2.17	3.1	4.9	5.4	6.1
1	2	8	13	20	16	27	32	39	42	1.4	1.20	1.37	2.18	3.2	4.13	5.5	6.2	7.4
2	3	9	14	21	25	28	33	40	43	1.5	1.23	1.39	2.20	3.3	4.14	5.8	6.4	7.5
3	4	10	15	22	16	25	34	36	44	1.6	1.29	1.40	2.3	3.4	4.17	5.10	6.6	7.6
4	5	11	16	23	14	29	35	38	45	1.7	1.31	1.41	2.2	3.5	4.22	5.12	6.8	7.7
5	6	8	17	24	18	30	36	39	41	1.8	1.25	1.42	2.6	3.6	4.23	5.18	6.9	7.8
6	7	9	18	20	25	26	37	40	42	1.9	1.26	1.43	2.8	3.7	4.24	5.20	6.10	8.3
7	3	10	19	25	14	27	31	35	43	1.10	1.14	1.44	2.9	3.8	4.25	5.22	6.3	8.4
8	4	8	14	22	17	28	33	39	44	1.12	1.16	1.47	2.12	3.9	4.26	5.23	6.5	8.6
9	5	9	17	23	14	29	34	40	45	1.13	1.18	1.48	2.10	3.10	4.28	5.24	6.7	8.7

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные физические свойства жидкостей. Их размерности в системе СИ. В чём отличие жидкостей от твёрдых тел и газов.

2. Какие силы относятся к массовым и поверхностным. Какие виды напряжений действуют в жидкости. Объясните понятие гидростатического давления и каковы его свойства.

3. Объясните понятия абсолютного и избыточного давления, вакуума. Какими приборами измеряются атмосферное и избыточное давление, вакуум. Устройство и принцип работы этих приборов.

4. Вывод основного уравнения гидростатики и его физический смысл. Что такое поверхность равного давления и каким уравнением она описывается? Что является поверхностью равного давления для жидкости в поле сил тяжести?

5. Как определить давление на некоторой глубине  $h$  в покоящейся жидкости? Сформулируйте закон Паскаля. Приведите примеры пожарной техники, расчет и принцип действия которой основаны на законе Паскаля.

6. Объясните понятия пьезометрической и вакуумметрической высоты, гидростатического напора. Выведите формулы для их определения. В чём отличие пьезометрической высоты и гидростатического напора?

7. Приведите примеры относительно покоя жидкости. Как определить силу, которая стремится сдвинуть бак при резком торможении автоцистерны?

8. Вывод формулы для определения силы гидростатического давления жидкости на плоские стенки. Как определить координату точки приложения этой силы (центр давления)?

9. Гидростатическое давление и его свойства. Что такое “эпюра давления”? Принцип построения эпюр давления. Использование эпюр давления для определения величины силы гидростатического давления и центра давления.

10. Методика определения силы и центра давления жидкости на цилиндрические поверхности.

11. Выведите формулу для определения выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость. Сформулируйте закон Архимеда.

12. Что такое траектория частицы жидкости, линия тока, трубка тока, элементарная струйка, установившееся и неустановившееся движение? Свойство линий тока. Может ли поступать жидкость через боковую поверхность элементарной струйки? Объясните понятия “живое сечение элементарной струйки” и “живое сечение потока жидкости”. Чем отличается элементарная струйка от потока жидкости?

13. Как определяется средняя скорость в живом сечении потока? Что такое гидравлический радиус и гидравлический диаметр и зачем введены эти понятия? Чем отличается равномерное движение от неравномерного? Понятие идеальной жидкости.

14. Приведите вывод уравнения неразрывности для элементарной струйки и для потока жидкости и объясните его физический смысл.

15. Приведите уравнения движения идеальной и реальной жидкости и поясните, что характеризуют отдельные их члены. Как получить описания полей скорости и давления для различных конкретных условий?

16. Напишите уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости и для потока реальной жидкости. Объясните его физический смысл и дайте геометрическую интерпретацию.

17. Какие ограничения использования уравнения Бернулли для потока реальной (вязкой) жидкости? Какой физический смысл коэффициента Кориолиса  $\alpha$ , методика его определения и величина  $\alpha$  при ламинарном и турбулентном режиме движения.

18. Объясните понятия “пьезометрический уклон” и “гидравлический уклон”. Напишите формулы для их определения. В каких случаях пьезометрический уклон меняет знак с положительного на отрицательный. Может ли менять знак гидравлический уклон?

19. Дайте понятия ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости и как можно доказать их существование? Физический смысл числа Рейнольдса. Границы ламинарного, переходного и турбулентного режимов движения.

20. Вывод уравнения момента количества движения.

21. Поясните условия необходимые для соблюдения гидродинамического подобия.

22. Сущность метода масштабных преобразований. Какие безразмерные комплексы он позволяет получить для критерияльных уравнений?

23. Сущность метода анализа размерностей. Вид формул для определения линейных и местных потерь напора. От каких величин зависят коэффициенты линейных ( $\lambda$ ) и местных ( $\zeta$ ) потерь напора.

24. Как определить потери напора при ламинарном движении жидкости в трубе? Вывод формулы Пуазейля.

25. Расчёт каких аппаратов пожарной техники основан на уравнении Бернулли? Привести пример методики расчёта одного из указанных аппаратов.

26. Как изменяется коэффициент линейного гидравлического сопротивления  $\lambda$  в трубах в зависимости от числа Рейнольдса и относительной шероховатости? Объясните, почему при ламинарном режиме движения потери напора пропорциональны средней скорости потока в первой степени, а при турбулентном показатель степени возрастает, приближаясь к двум. Что такое гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы?

27. Напишите гидравлическое уравнение количества движения в общем виде. Покажите методику его использования для определения местных потерь напора при внезапном расширении потока.

28. Объясните причины возникновения местных потерь напора и характер изменения коэффициентов местных сопротивлений от числа Рейнольдса.

29. Дайте классификацию трубопроводов и поясните методику гидравлического расчета длинных трубопроводов.

30. Объясните методику определения потерь напора в трубопроводах с непрерывным расходом воды по его длине. Как определяются потери напора в пожарных рукавах?

31. Объясните причины сжатия струи при истечении жидкости через отверстия. Какие бывают виды сжатия? Что такое инверсия струи и в каких случаях наблюдается это явление?

32. Как определяются скорость и расход жидкости при истечении через отверстие? Связь между коэффициентами скорости, расхода и степени сжатия. Как изменяются эти коэффициенты для полного, неполного и несовершенного сжатия?

33. Назовите типы насадков. Как рассчитать расход и скорость струи на выходе из насадка? Какие насадки обеспечат получение дальнобойной струи и почему?

34. Как можно упростить расчётные формулы для определения расхода и напора при истечении жидкости через насадки? В каких случаях удобно пользоваться упрощёнными формулами и почему?

35. Как определить время аварийного слива жидкости при постоянном напоре? Методика определения расхода с учётом зависимости коэффициентов линейных сопротивлений от числа Рейнольдса.

36. Как определить время опорожнения резервуара с постоянным поперечным сечением по высоте и переменном уровне свободной поверхности (переменном напоре)?

37. Методика определения времени опорожнения резервуаров произвольной формы.

38. Поясните понятия “свободная струя”, “незатопленная струя”, “затопленная струя”, “сплошная струя”, “раздробленная струя”. Причины

распада сплошных струй и как обеспечить получение дальнобойных пожарных струй.

39. Методика расчёта огибающих кривых компактной и раздробленной части струи. Как зависит максимальная высота струи от давления перед насадком и диаметра насадка? Способы получения распылённых струй.

40. Что такое реакция струи и как определить её величину? Как рассчитать силу удара струи о неподвижную преграду?

41. Приведите пример неустановившегося движения. В чём отличие уравнения Бернулли для установившегося и неустановившегося движений? Как определить закон изменения скорости движения воды во времени при быстром вскрытии распылителя спринклерной установки?

42. Каковы причины возникновения гидравлического удара? Как изменяется во времени давление у задвижки при гидравлическом ударе? Что такое прямой и непрямой гидравлический удар?

43. Как рассчитать величину повышения давления в трубопроводе при прямом и непрямом гидравлическом ударе? От чего зависит скорость ударной волны? Приведите примеры возникновения гидравлического удара при эксплуатации пожарной техники. Как можно уменьшить или предотвратить ударное повышение давления?

44. Каковы отличия уравнения Бернулли и уравнения неразрывности для жидкости и газа?

45. Методика расчёта газопроводов при малых перепадах давления.

## ЗАДАЧИ

1.1. Плотность дизельного мазута  $\rho = 878 \text{ кг/м}^3$ . Определить его удельный вес.

1.2. Медный шар  $d = 100 \text{ мм}$  весит в воздухе  $45,7 \text{ Н}$ , а при погружении в жидкость –  $40,6 \text{ Н}$ . Определить плотность жидкости.

*Указание.* Объем шара  $W = \pi d^3/6$ .

1.3. Определить динамическую вязкость нефти, если кинематическая вязкость ее  $\nu = 0,614 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ , а плотность  $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ .

1.4. Определить динамическую и кинематическую вязкости воды, если шарик  $d = 2 \text{ мм}$ , выполненный из эбонита с плотностью  $\rho = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , падает в воде с постоянной скоростью  $V = 0,33 \text{ м/с}$ . Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

*Указание.* Сила сопротивления при падении шарика в вязкой жидкости определяется по формуле Стокса:  $f = 3\pi\eta dV$ .

1.5. При гидравлическом испытании системы объединенного внутреннего противопожарного водоснабжения допускается падение испытательного давления в течение 10 мин на  $\Delta p = 4,9 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Определить допускаемую величину утечки  $\Delta W$  в течение 10 мин при гидравлическом испытании системы вместимостью  $W = 80 \text{ м}^3$ . Деформацией трубопроводов пренебречь. Коэффициент объемного сжатия воды  $\beta = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Па}$ .

1.6. Определить среднюю толщину  $\Delta_{\text{отл}}$  солевых отложений в герметичном водоводе противопожарного водопровода с внутренним диаметром  $d = 0,3 \text{ м}$  и  $l = 2 \text{ км}$ . При выпуске объема воды  $\Delta W = 0,05 \text{ м}^3$  давление в водоводе падает на величину  $\Delta p = 1 \text{ МПа}$ . Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно. Коэффициент объемного сжатия воды  $\beta = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Па}$ . Деформацией трубопровода пренебречь.

1.7. В вертикальном цилиндрическом резервуаре диаметром  $4 \text{ м}$  хранится  $10^5 \text{ кг}$  нефти, плотность которой при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  составляет  $850 \text{ кг/м}^3$ . Определить колебания уровня в резервуаре при изменении температуры нефти от  $0$  до  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Расширение резервуара не учитывать. Коэффициент температурного расширения нефти принять  $\alpha_T = 0,00072 \text{ 1/град}$ .

1.8. Водовод противопожарного водовода диаметром  $300 \text{ мм}$ , длиной  $50 \text{ м}$ , подготовленный к гидравлическому испытанию, заполнен водой при атмосферном давлении. Какое количество воды необходимо дополнительно подать в водовод, чтобы избыточное давление в нем поднялось до  $2,5 \text{ МПа}$ . Деформацией трубопровода пренебречь. Коэффициент объемного сжатия воды  $\beta = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Па}$ .

1.9. При гидравлическом испытании нефтепровода диаметром  $400 \text{ мм}$  и длиной  $200 \text{ м}$  давление было поднято до  $5,5 \text{ Мпа}$ . Через час давление упало до  $5 \text{ Мпа}$ . Определить, пренебрегая деформацией трубопроводов, сколько нефти вытекло при этом через неплотности. Коэффициент объемного сжатия нефти  $\beta = 0,74 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Па}$ .

1.10. Манометр на технологической емкости, полностью заполненной нефтью, показывает 0,5 Мпа. При выпуске 40 л нефти показания манометра упали до 0,1 Мпа. Определить объем емкости, если коэффициент объемного сжатия нефти  $\beta = 0,74 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Па}$ .

1.11. При механическом распыле в установках пожаротушения, в результате удара струи о преграду при напоре  $60 \div 80 \text{ м}$  получаются капли размером  $d = 100 \div 200 \text{ мк}$ . Определить дополнительное давление в капле воды  $d = 200 \text{ мк}$ , если при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 0,073 \text{ Н/м}$ .

Указание. Дополнительное давление в сферической капле определяется по

$$\text{формуле } \Delta p = \frac{2\sigma}{r_k}.$$

1.12. Определить высоту подъема  $h$  воды и спирта (смачивающей жидкости) в открытой стеклянной трубке диаметром  $d = 1 \text{ мм}$ . Коэффициенты поверхностного натяжения воды  $\delta_{\text{в}} = 0,073 \text{ Н/м}$  и спирта  $\sigma_{\text{сп}} = 0,0225 \text{ Н/м}$ ;  $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{сп}} = 800 \text{ кг/м}^3$ .

Указание. Для полусферического мениска с учетом уравнения

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r_k} \text{ получим для высоты подъема уравнение } h = \frac{4\sigma}{\rho g}.$$

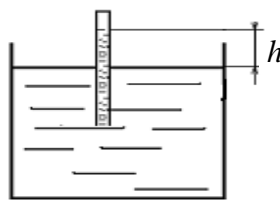


Рисунок к задаче 1.12

1.13. На сколько будет ниже уровень ртути  $h_{\text{рт}}$  открытой стеклянной трубке диаметром  $d = 1 \text{ мм}$ , если коэффициент поверхностного натяжения ртути  $\sigma_{\text{рт}} = 0,460 \text{ Н/м}$ ;  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

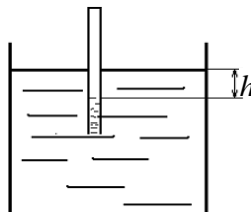
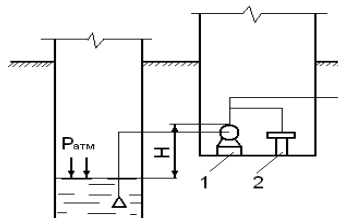


Рисунок к задаче 1.13

1.14. Для заливки пожарного центробежного насоса 1 установлен вакуум насос 2. Какой необходимо создать вакуум, если верх корпуса насоса находится над уровнем воды в резервуаре на расстоянии  $H = 3,5 \text{ м}$ ?





1.15. Для поддержания постоянного расхода жидкости при исследовании гидравлических характеристик применяется сосуд Мариотта. После заполнения сосуда жидкостью кран 1 закрывается. Во время опорожнения сосуд соединен с атмосферой только трубкой 2. Начавшееся истечение приводит к снижению уровня жидкости и созданию вакуума. Уровень воды в трубке 2 понижается, и через нее в сосуд начинает поступать воздух. На уровне нижнего конца трубки 2 устанавливается атмосферное давление. Внутри сосуда на этом же уровне оно также будет равным атмосферному, так как горизонтальная плоскость 0 – 0 является поверхностью равного давления. Таким образом, сосуд опорожняется под постоянным напором  $H$  и расходом  $Q$ . Определить, как изменяется давление  $p_0$  по мере опорожнения сосуда.

*Решение.* После заполнения сосуда давление в нем равно атмосферному, т.е.  $p_0 = p_{\text{атм}}$ . По мере опорожнения в течение короткого времени оно снижается. При поступлении воздуха в сосуд по трубке 2 давление у среза трубки равно атмосферному. Так как плоскость 0 – 0 является поверхностью равного давления, то

$$p_I = p_{II}, \quad p_I = p_{\text{атм}}, \quad p_{II} = p_0 + \rho gh, \quad p_{\text{атм}} = p_0 + \rho gh,$$

откуда  $p_0 = p_{\text{атм}} - \rho gh$ .

Из этого уравнения видно, что давление в сосуде действительно меньше атмосферного, т.е. в нем вакуум, равный

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} - p_0 = \rho gh.$$

По мере опорожнения сосуда и снижения уровня воды, т.е. уменьшения высоты  $h$ , вакуум будет уменьшаться. При достижении уровнем воды в сосуде нижнего конца трубки 2 (при  $h = 0$ ) вакуум будет равен нулю, а давление в сосуде достигает атмосферного.

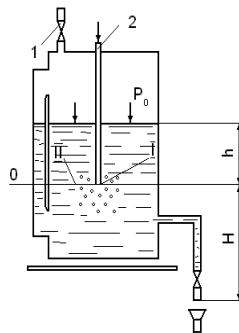


Рисунок к задаче 1.15

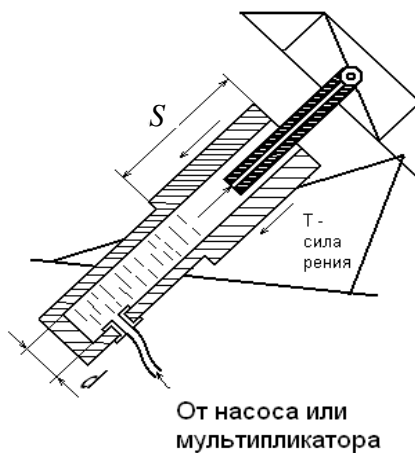
1.16. Определить абсолютное и избыточное давления воды на дно пожарного водоема глубиной  $h = 4$  м.

Чему равна сила давления, действующая на  $1 \text{ м}^2$  дна водоема? Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; атмосферное давление  $p = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

1.18. Определить необходимый объем и давление масла  $p$  в цилиндре гидропривода пожарной лестницы, если диаметр поршня  $D$ , ход поршня  $S$ , максимальное усилие на штоке поршня  $F$ , гидравлический коэффициент полезного действия  $\eta$ . Лестница оборудована двумя механизмами подъема, установленными справа и слева. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 1.18

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$d$ , мм	$S$ , м	$F$ , кН	$\eta$	Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$D$ , мм	$S$ , м	$F$ , кН	$\eta$
0	120	0,80	60	0,95	5	130	0,90	67	0,95
1	115	0,85	65	0,97	6	125	0,75	65	0,99
2	100	0,75	58	0,90	7	110	0,65	60	0,90
3	85	0,70	54	0,95	8	125	0,86	64	0,85
4	120	0,85	60	0,93	9	120	0,75	63	0,90



1.20. Неподвижный сосуд, составленный из двух цилиндров, заполнен водой ( $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), удерживаемой поршнями, которые нагружены силами  $F_1$  и  $F_2$ .

Определить положение  $h_1$  и  $h_2$  поршней, при которых система находится в равновесии, если площади поршней  $\omega_1 = 0,5 \text{ м}^2$ ,  $\omega_2 = 1 \text{ м}^2$ , а  $F_1 = 2,65 \text{ кН}$ ,  $F_2 = 20 \text{ кН}$ . Полный объем жидкости  $W = 1 \text{ м}^3$ .

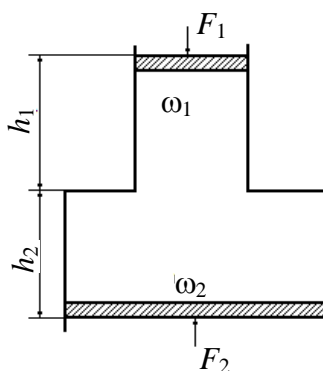
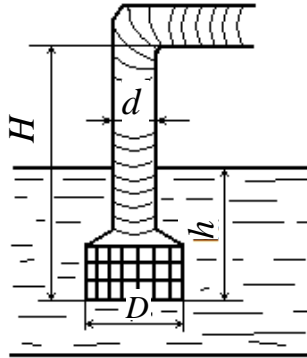


Рисунок к задаче 1.20

1.22. Определить усилия, необходимые для открытия всасывающего клапана пожарного насоса, если длина рукава  $H = 7$  м,  $d = 125$  мм, а глубина погружения всасывающего клапана  $h = 2$  м. Диаметр клапана  $D = 200$  мм.



1.23. Решить задачу 1.22, используя данные, приведенные в таблице:

Таблица к задаче 1.23

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$d$ , мм	$D$ , мм	$H$ , м	$h$ , м	Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$d$ , мм	$D$ , мм	$H$ , м	$h$ , м
0	75	100	8	0,5	5	100	150	6	2
1	100	150	8	1	6	125	200	7	2
2	125	200	8	1,5	7	200	300	9	1,5
3	150	250	8	0,5	8	50	75	5	1
4	200	300	8	1	9	75	100	7	2

1.25. При измерении давления ртутным дифманометром получили  $h_{рт} = 200$  мм. При измерении того же давления дифманометром, заполненным жидкостью с неизвестной плотностью, получили  $h_{ж} = 950$  мм. Определить плотность жидкости.

1.26. Определить величину вакуума и абсолютное давление во всасывающей линии ацетиленового компрессора А по показаниям ртутного вакуумметра, если атмосферное давление  $p_{\text{атм}} = 10^5$  Па. Ртуть в левом колене поднялась на высоту  $h_{\text{рт}}$ . Так как соединения паров ртути с ацетиленом опасно в пожарном отношении, над ртутью налито масло, высота столба которого  $h_{\text{м}}$ . Плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; масло  $\rho_{\text{м}} = 800$  кг/м<sup>3</sup>. Исходные данные приведены в таблице.

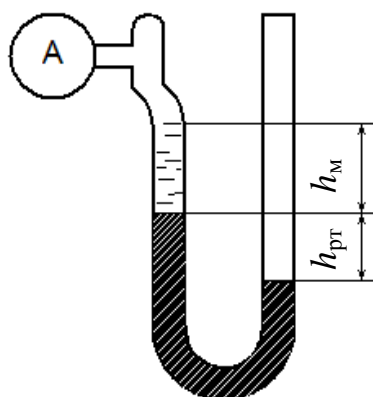


Рисунок к задаче 1.26

Таблица к задаче 1.26

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$h_{\text{рт}}$ , м	$h_{\text{м}}$ , м	Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	$h_{\text{рт}}$ , м	$h_{\text{м}}$ , м
0	0,55	0,30	5	0,64	0,29
1	0,50	0,35	6	0,57	0,30
2	0,58	0,28	7	0,59	0,34
3	0,53	0,32	8	0,60	0,40
4	0,45	0,40	9	0,62	0,23

1.29. К резервуару, наполненному бензином ( $\rho_{\text{в}} = 0,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) до высоты 2 м, присоединены три различных прибора для измерения давления. К крышке резервуара присоединен пружинный манометр, к боковым стенкам – пьезометр и трехколенный дифманометр, наполненный ртутью ( $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), водой ( $\rho_{\text{в}} = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) и воздухом. Определить показания манометра и пьезометра, если уровни жидкости в дифманометрах расположились так, как показано на рисунке (отметки даны в метрах от дна резервуара).

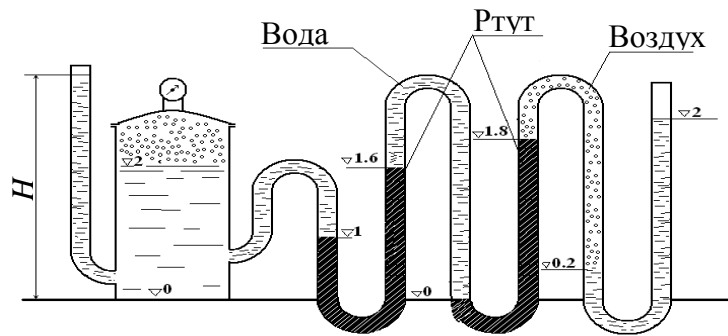


Рисунок к задаче 1.29

1.30. Найти давление воздуха в резервуаре В, если избыточное давление на поверхности воды в резервуаре А  $p_m = 25$  кПа, разности уровней ртути ( $\rho_{рт} = 0,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) в двухколенном дифференциальном манометре

$h_1 = 200$  мм и  $h_2 = 250$  мм, а мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на  $h = 0,7$  м. Пространство между уровнями ртути в дифманометре заполнено воздухом.

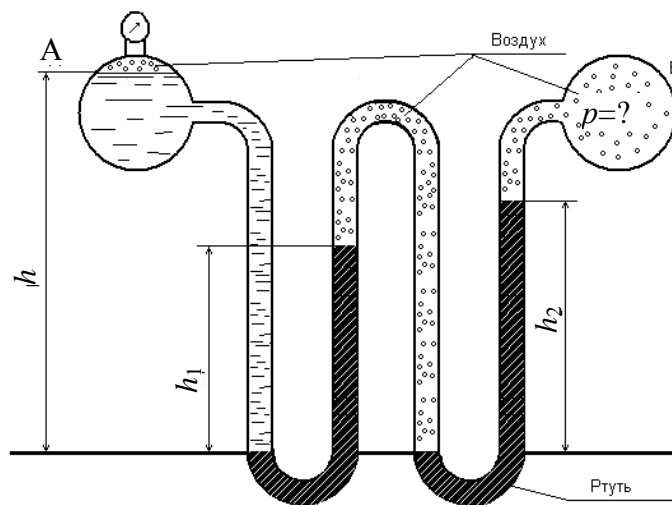
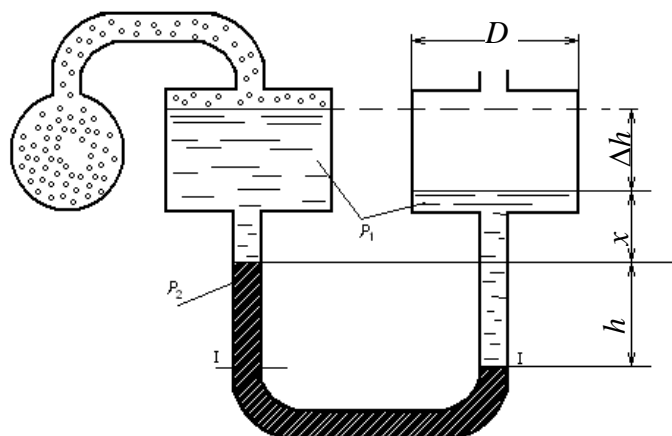


Рисунок к задаче 1.30

1.31. Для измерения малых отклонений давления от атмосферного или малых перепадов давления используются двухжидкостные чашечные микроманометры (рисунок к задаче 1.31).



Определить давление газа в баллоне по показаниям двухжидкостного чашечного микроманометра, заполненного жидкостями, имеющими плотности  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если задано отношение диаметров трубки и чашки прибора  $\frac{d}{D}$ .

*Решение.* Для определения давления прежде всего применим закон равновесия несжимаемой жидкости, из которого следует, что в жидкости с плотностью  $\rho_2$  на уровне I – I давление в трубках манометра одинаково. В правой трубке оно создано атмосферным давлением  $p_{\text{атм}}$  и давлением столба жидкости  $p_1$ .

Так как высота этого столба неизвестна, введем размер  $x$  (рисунок к задаче 1.31). Тогда

$$p_1 = p_{\text{атм}} + \rho_1 g(h + x). \quad (\text{а})$$

В левой трубке давление на уровне I – I создается давлением  $p$  газа в баллоне и давлением жидкостей с плотностями  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Для выражения давления через указанные величины введем еще один размер  $\Delta h$ , представляющий разность уровней жидкости с плотностью  $\rho_1$  в чашках прибора, тогда:

$$p_1 = p + \rho_1 g(x + \Delta h) + \rho_2 gh. \quad (\text{б})$$

Приравнивая соотношения (а) и (б), получим

$$p + \rho_1 g(x + \Delta h) + \rho_2 gh = p_{\text{атм}} + \rho_1 g(h + x),$$

откуда

$$p = p_{\text{атм}} - (\rho_2 - \rho_1)gh - \rho_1 g \Delta h. \quad (\text{в})$$

Как видно из полученного результата, использование закона равновесия несжимаемой жидкости недостаточно для решения задачи, так как в уравнении (в) величина  $\Delta h$  неизвестна.

Для определения  $\Delta h$  применим уравнения постоянства объема жидкости в системе  $\frac{\pi D^2}{4} \cdot \Delta h = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$ ,  $\Delta h = \frac{d^2}{D^2} h$ .

Подставим полученное выражение для  $\Delta h$  в соотношении (в), получим:

$$p = p_{\text{атм}} - (\rho_2 - \rho_1)gh - \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h.$$

Поскольку  $\rho_1 < \rho_2$ , имеем  $p < p_{\text{атм}}$ , т.е. давление в баллоне меньше атмосферного. Вакуум в баллоне:

$$p_{\text{в}} = p_{\text{атм}} - p,$$

$$p_{\text{в}} = (\rho_2 - \rho_1)gh + \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h.$$

Если  $d \ll D$ , то  $d^2/D^2 \ll 1$ , можно принять

$$p_{\text{в}} = (\rho_2 - \rho_1)gh.$$

Подбором несмешивающихся жидкостей с близкими значениями плотности можно получить достаточно большие показания прибора при измерении малых величин избыточного давления или вакуума.

Решить задачу 1.31, используя данные, приведенные в таблице:

Таблица к задаче

Величины	Номера вариантов (Предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h$ , мм	100	200	300	400	500	600	700	450	350	150
$\rho_1 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	1	0,9	0,8	0,85	0,87	0,82	0,78	0,81	0,84	0,89
$\rho_2 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,1	1,0	0,87	0,95	0,93	0,89	0,85	0,88	0,91	0,98
$d$ , мм	10	20	25	10	15	20	12	14	8	16
$D$ , мм	50	40	60	70	60	100	60	70	40	100

1.34. При пожарно-техническом обследовании систем вентиляции используются спиртовые чашечные микроманометры с наклонной шкалой. Определить перепад давления  $\Delta p = p_1 - p_2$ , измеряемый микроманометром, если его показания  $l = 100$  мм, а угол наклона трубки  $\alpha = 30^\circ$

( $\rho_{\text{спирт}} = 0,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

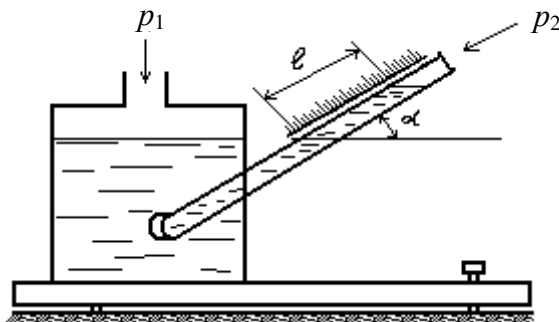


Рисунок к задаче 1.34

1.37. Крышка пневмобака  $d = 1$  м крепится 10 болтами. Определить диаметр болтов, если максимальное давление в пневмобаке 1 МПа. Допускаемое напряжение на разрыв для болтов  $\sigma = 140$  МПа.

1.39. Круглая труба водовыпуска из пожарного водоёма диаметром  $d = 1$  м закрыта наклонной крышкой. Угол наклона крышки  $\alpha$  по отношению к урезу воды равен  $60^\circ$ . Ось водовыпуска находится на глубине  $H = 2$  м.

Определить силу давления и центр давления воды на крышку.

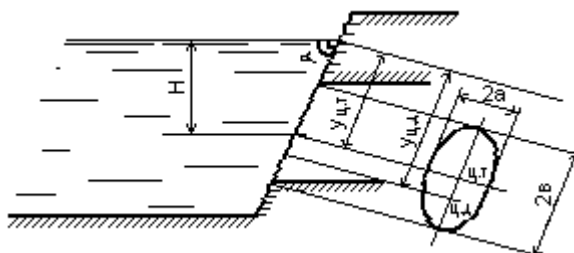


Рисунок к задаче 1.39

1.40. Решить задачу 1.39, используя данные, приведенные в таблице:

Таблица к задаче 1.39

Величины	Номер варианта (Предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{ м}$	1,5	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
$d, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	1,2	2,0	1,2
$\alpha, ^\circ$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	60

1.41. Клапанный затвор пожарного водоёма, имеющий плоскую поверхность шириной 10 м, создает подпор воды  $H = 2$  м. Затвор наклонен под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту.

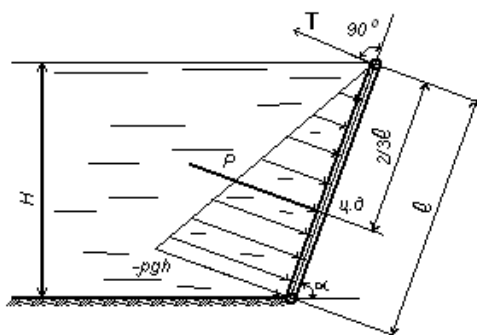


Рисунок к задаче 1.41

Определить суммарную силу натяжения тросов  $T$ , удерживающих затвор в заданном положении (без учета трения в шарнире и массы затвора).



1.42. Прямоугольный щит закрывает водовыпуск из пожарного резервуара. Определить силу давления на щит со стороны воды и точку ее приложения, если  $H = 2$  м,  $h = 0,5$  м,  $\alpha = 60^\circ$ , ширина щита  $b = 1$  м.

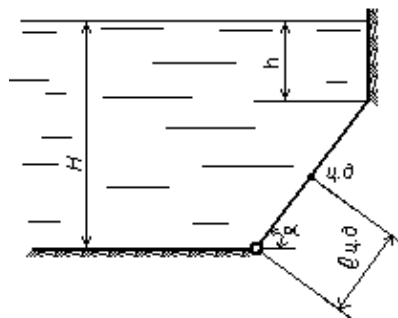


Рисунок к задаче 1.41

1.43. Прямоугольный канал шириной  $b = 1,3$  м перегораживается деревянным вертикальным щитом весом  $980$  Н,двигающимся по направляющим в пазах канала. Определить силу, необходимую для подъема щита, если глубина канала  $H = 2$  м, а коэффициент трения щита о направляющие  $0,4$ .

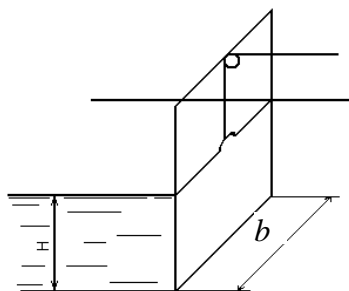
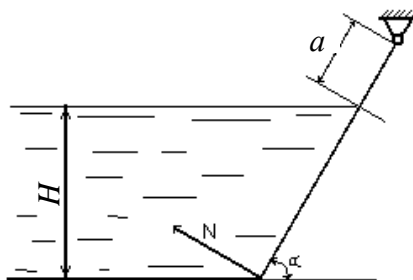


Рисунок к задаче 1.43

1.44. Определить усилие  $N$ , необходимое для подъема наклонного шарнирного щита шириной  $b = 1,5$  м, расположенного под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту, в канале глубиной  $H = 1,5$  м, если расстояние от уровня воды до оси шарнира  $a = 20$  см. Собственным весом щита и трением в шарнире пренебречь.



1.47. Промежуточная вертикальная стенка делит пожарный резервуар шириной  $b = 6$  м на два отсека. Уровень жидкости в первом отсеке находится на высоте  $H_1 = 1,2$  м, а во втором –  $0,48$  м.

Определить результирующую силу давления  $P$  и точку ее приложения.

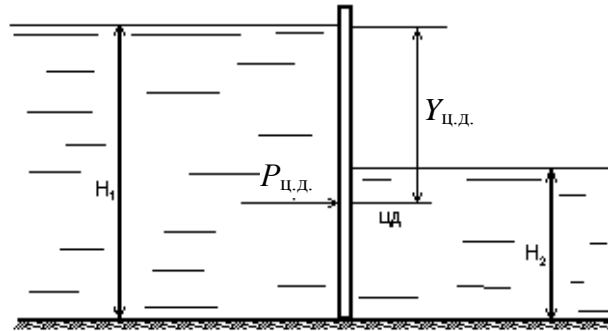


Рисунок к задаче 1.47

1.48. Для увеличения жесткости стенок металлический водонапорный бак, имеющий высоту  $H = 4$  м, снабжен пятью горизонтальными поясами жесткости из профильного железа. Как должны быть расположены эти пояса, чтобы каждый из них воспринимал одинаковую нагрузку?

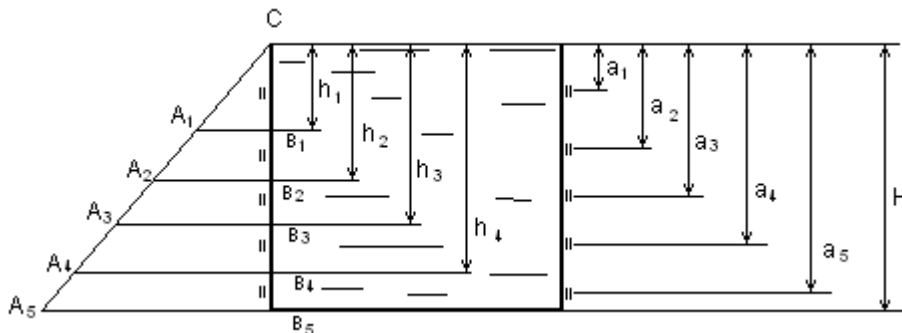


Рисунок к задаче 1.48

*Решение.* Эпюра давлений должна быть разбита на пять равновеликих площадей. Глубину погружения оснований этих площадей найдем из следующих соотношений:

$$\frac{\omega_{A_1CB_1}}{\omega_{A_5CB_5}} = \frac{h_1^2}{H^2} = \frac{1}{5}, \quad \text{откуда } h_1 = \sqrt{\frac{H^2}{5}}, h_1 = \dots \dot{\text{и}} .$$

$$\frac{\omega_{A_2CB_2}}{\omega_{A_5CB_5}} = \frac{h_2^2}{H^2} = \frac{2}{5}, \quad \text{откуда } h_2 = \sqrt{\frac{2H^2}{5}}, h_2 = \dots \dot{\text{и}} .$$

$$\frac{\omega_{A_3CB_3}}{\omega_{A_5CB_5}} = \frac{h_3^2}{H^2} = \frac{3}{5}, \quad \text{откуда } h_3 = \sqrt{\frac{3H^2}{5}}, h_3 = \dots \dot{\text{и}} .$$

$$\frac{\omega_{A_4CB_4}}{\omega_{A_5CB_5}} = \frac{h_4^2}{H^2} = \frac{4}{5}, \quad \text{откуда } h_2 = \sqrt{\frac{4H^2}{5}}, h_4 = \dots \text{ и } .$$

Каждый из поясов жесткости нужно разместить против центра давления соответствующего пояса.

Первый пояс жесткости должен лежать на расстоянии  $2/3 h_1$ , м, от свободной поверхности жидкости, т.е. в центре давления первого пояса

$$a_1 = \frac{2}{3}h_1, \quad a_2 = \dots .$$

Положение второго пояса жесткости находят из уравнения моментов, выражающего, что общий момент сил давления двух верхних поясов относительно точки  $C$  равен сумме моментов сил давления первого и второго поясов в отдельности

$$2P\frac{2}{3}h_2 = P\frac{2}{3}h_1 + Pa_2,$$

откуда

$$a_2 = \frac{4}{3}h_2 - a_1, \quad a_2 = \dots \text{ и } .$$

Положение третьего пояса жесткости определяется из аналогичного уравнения моментов, написанного для первого, второго и третьего поясов

$$3P\frac{2}{3}h_3 = 2P\frac{2}{3}h_2 + Pa_3,$$

$$a_3 = 2h_3 - \frac{4}{3}h_2, \quad a_2 = \dots \text{ и } .$$

Аналогично найдем положение четвертого и пятого поясов жесткости

$$4P\frac{2}{3}h_4 = 3P\frac{2}{3}h_3 + Pa_4,$$

$$a_4 = \frac{8}{3}h_4 - 2h_3, \quad a_4 = \dots \text{ и } ,$$

$$5P\frac{2}{3}h_5 = 4P\frac{2}{3}h_4 + Pa_5,$$

$$a_5 = \frac{10}{3}H - \frac{8}{3}h_4, \quad a_5 = \dots \text{ м.}$$

2.2. Определить гидравлический радиус воздуховода трапецеидального сечения, если ширина по верху  $a = 0,4$  м, по низу  $b = 0,5$  м, высота воздуховода  $0,3$  м.

2.3. Определить диаметр пожарного рукава, работающего полным сечением, если гидравлический радиус его  $R_r = 0,0165$  м.

2.6. Определить среднюю скорость движения воды в трубе пожарного водопровода диаметром  $d = 200$  мм, если расход составляет  $Q = 40$  л/с.

2.8. Трубы, используемые в противопожарном водоснабжении, имеют минимальный диаметр  $d = 50$  мм и максимальный диаметр  $d = 1500$  мм. Расчетные скорости движения воды в них  $V = 0,5-4$  м/с. Определить минимальное и максимальное значения расходов воды в этих трубопроводах.

2.9. Определить среднюю скорость движения воды в пожарном рукаве диаметром  $d$ , мм, если расход воды составляет  $Q$ , л/с. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 2.9

Номер варианта, предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$ , мм	51	66	77	77	89	66	51	51	66	89	77
$Q$ , мм	3,4	6,5	10	20	26	10	10	2,5	5	60	35

2.10. Для измерения скорости движения жидкости в струе, вытекающей из пожарного ствола, а значит и расхода воды, можно использовать модификацию трубки Пито (разработка ВНИИПО). Изогнутая тонкая трубка  $I$  вводится в струю, вытекающую из пожарного ствола. Ребро жесткости  $2$  предотвращает вибрации трубки  $I$ . Трубка  $I$  соединена с полой рукояткой,  $3$  на которой установлен манометр  $4$ . Носик трубки  $I$  должен быть нормален к вектору скорости. В этом случае показание манометра максимально.

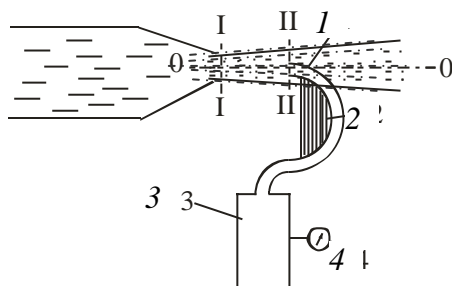


Рисунок к задаче 2.10

Показать, что расход воды из ствола может быть определен по формуле  $Q = c\sqrt{p_m}$ , где  $c = 0,035d_H^2$ . Определить расход воды ( $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) из ствола, если диаметр насадка  $d_H$ , мм, а манометр показывает  $p_m$ , МПа. Данные приведены в таблице:

Таблица к задаче 2.10

Номер варианта предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_H$ , мм	13	16	19	22	25	28	32	38	50	63
$p_m$ , МПа	0,33	0,3	0,4	0,25	0,3	0,32	0,4	0,3	0,4	0,3

*Указание.*

Выберем в качестве плоскости сравнения 0–0 горизонтальную плоскость, проходящую через центр свободного конца трубки, а сечения I–I и II–II – сечения элементарной струйки, проходящей через носик трубки и отстоящие друг от друга на небольшое расстояние. Распределение скорости в живом сечении струй I–I и II–II близко к равномерному, т.к. жестких границ у струи нет.

Энергетическим обменом между рассматриваемой элементарной струйкой и соседними можно пренебречь в силу малости расстояния между сечениями I–I и II–II и равномерного распределения скорости в живом сечении струи. Для решения задачи можно воспользоваться уравнением Бернулли для идеальной жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

Значения отдельных членов уравнения Бернулли для рассматриваемых сечений при выбранной плоскости сравнения будут следующие:  $z_1 = z_2 = 0$ ;  $p_1 = p_{\text{атм}}$ . (Величину  $p_m = 0$  показал бы манометр, движущийся вместе со струей, т.к. у струи нет жестких границ);  $v_1 = v$  – скорость движения жидкости в струе;  $v_2 = 0$  – элементарная струйка на носике тормозится (трубка неподвижна, движение жидкости в трубке отсутствует) и кинетическая энергия струйки переходит в потенциальную энергию давления;  $p_2 - p_{\text{атм}} = p_m$ .

Подставим полученные значения в уравнение Бернулли.

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{p_m}{\rho g}, \text{ или } v = \sqrt{2 \frac{p_m}{\rho}}.$$

Расход воды из ствола будет равен:

$$Q = v\omega, \text{ где } \omega = \frac{\pi d_H^2}{4}.$$

После соответствующих преобразований получим требуемую формулу.

2.12. При пожарно-техническом обследовании систем вентиляции скорость воздуха в воздуховодах можно определить с помощью трубки Прандтля. На тонкую изогнутую трубку 1 монтируется удобно обтекаемый корпус 2, на боковой поверхности которого имеются отверстия 3. Трубки 1 и 2 соединяются при помощи импульсных трубок с дифференциальным манометром 4 или наклонным микроманометром. Открытое живое сечение носика трубки 1 должно быть установлено нормально к вектору скорости, тогда в правом колене дифференциального манометра 4 давление будет такое же, как и в трубке 1, а в левом – как в трубке 2, так как  $\rho_{\text{воздуха}} \ll \rho_{\text{воды}}$ . Трубка Прандтля представляет собой объединенные в одном корпусе пьезометрическую трубку и трубку Пито (трубку полного давления). Отметим, что если в воздуховоде давление близко к атмосферному, то при обследовании пользуются и трубкой Пито, оставляя второй конец дифференциального манометра открытым.

Определить скорость воздуха, если показания дифференциального манометра, залитого водой, равны  $\Delta h = 30$  мм вод.ст. Плотность воздуха  $\rho_{\text{возд}} = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

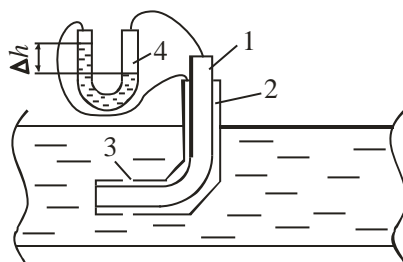


Рисунок к задаче 2.12

2.16. Широкое применение в пожарном деле для подсосывания жидкости, порошка, газа нашли струйные аппараты. Они состоят из трубы диаметром  $D$ , рабочего насадка 1 диаметром  $d$ , приемной камеры 2, диффузора 3. Принцип действия аппарата состоит в следующем: рабочий расход воды  $Q_1$  проходит через насадок 1, на выходе из которого за счет увеличения скорости давление падает, и в приемной камере создается вакуум, подсосывается жидкость с расходом  $Q_2$  и смешивается с расходом  $Q_1$ . В диффузоре 3 давление увеличивается.

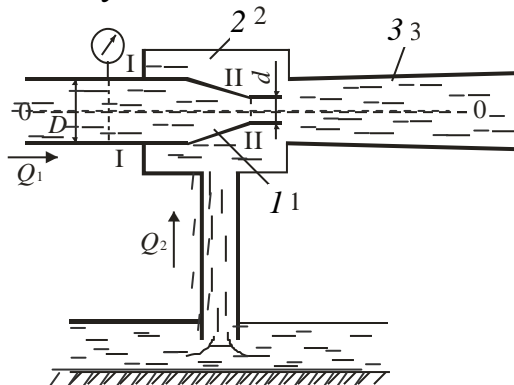


Рисунок к задаче 2.16

Определить вакуум на срезе насадка (сечение II–II), если  $Q_1 = 3,7$  л/с,  $p_m = 0,5$  Мпа, диаметр трубопровода  $D = 100$  мм и насадка  $d = 25$  мм. Потерями напора между сечениями I–I и II–II пренебречь. Коэффициент Кориолиса  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  принять равными единице ( $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1$ ).

*Указание.*

Уравнение Бернулли для сечений I–I и II–II при плоскости сравнения 0–0 будет иметь вид:

$$\frac{p_m + p_{\text{атм}}}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g};$$

учитывая, что  $\frac{p_{\text{атм}} - p_2}{\rho g} = h_{\text{вак}}$ ,  $V_1 = \frac{Q_1}{\frac{\pi D^2}{4}}$ ;  $V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}}$ ,

получим:

$$h_{\text{вак}} = \frac{16Q_1^2}{2g\pi^2} \left( \frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right) - \frac{p_m}{\rho g}.$$

2.17. Определить рабочий расход  $Q_1$  в струйном аппарате (рисунок к задаче 2.16), если  $D = 50$  мм,  $d = 20$  мм. Значения  $p_m$  и  $h_{\text{вак}}$  приведены в таблице.

Таблица к задаче 2.17

Номер варианта предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_m \cdot 10^{-5}$ , Па	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
$h_{\text{вак}}$ , М	2	3	4	5	6	2,5	6,5	3,5	4,5	5,5

2.18. Построить пьезометрическую и напорную линии для пожарного ствола (рисунок к задаче 2.18) с диаметром насадка  $d_n$  и расхода  $Q$ . Диаметр ствола  $d_c$ . Потерями напора при течении воды в стволе пренебречь. Исходные данные приведены в таблице.

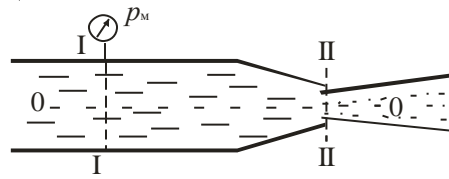


Рисунок к задаче 2.18

Таблица к задаче 2.18

Номер варианта предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	2,5	3	4,5	5	3	5	7	8,5	6,5	7,5
$d_n$ , мм	13	16	19	22	13	16	19	22	16	19
$d_c$ , мм	50	50	65	65	50	50	65	65	50	65

2.20. Определить скорость течения жидкости с помощью трубки Пито и диаметр трубы, если уровень жидкости в трубке поднялся на высоту  $h_v$ . Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 2.20

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h_v$ , м	0,05	0,07	0,09	0,1	0,12	0,14	0,15	0,16	0,18	0,2
$Q$ , м <sup>3</sup> /с	0,01	0,015	0,02	0,022	0,025	0,028	0,03	0,032	0,035	0,038

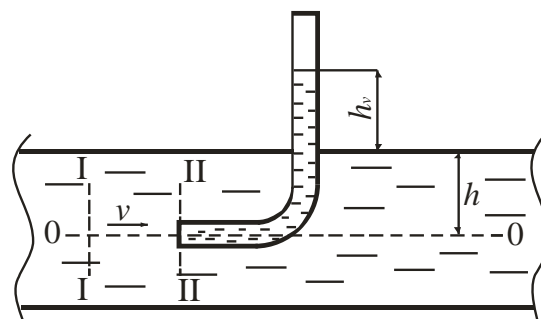


рисунок к задаче 2.20



3.1. При течении воды с расходом  $Q$ , л/с, через задвижку, установленную в трубопроводе диаметром  $d$ , мм, потери напора составили  $h$ , м. Определить режим движения и значения чисел  $Eu$  и  $Re$ . Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu = 10^{-3} \text{ кг/мс}$ . Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 3.1

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	10	20	30	40	50	15	25	35	45	55
$d$ , мм	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
$h$ , м	0,3	0,4	0,6	0,5	0,7	0,2	0,4	0,3	0,7	0,6

3.2. Истечение керосина ( $v_k = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ) через отверстие диаметром  $d = 75 \text{ мм}$  моделируется на воде ( $v_b = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ) при соблюдении вязкостного и гравитационного подобия.

Определить диаметр отверстия,  $d_m$ , для модели. В каком отношении должны находиться скорости струи ( $V_n/V_m$ ) и расходы ( $Q_n/Q_m$ ) для натуре и модели.

*Указание.*

Вязкостное подобие соблюдается при равенстве чисел Рейнольдса  $Re_n = Re_m$ , а гравитационное – при равенстве чисел Фруда  $Fr_n = Fr_m$ .

3.3. Сопротивление участка водопроводной трубы с арматурой необходимо перед установкой проверить в лаборатории путем испытаний на воздухе.

Определить с какой скоростью следует вести продувку, сохраняя подобие режимов движения ( $Re_n = Re_m$ ), если скорость воды в трубе должна быть  $2,5 \text{ м/с}$ . Какова будет потеря напора  $h_x$  при работе трубы на воде с указанной скоростью, если при испытании на воздухе потеря давления оказалась равной  $\Delta P_m = 8,35 \text{ кПа}$ ,  $v_{\text{воды}} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $v_{\text{воздуха}} = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\rho_{\text{воды}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{воздуха}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Указание.*

При выполнении гидродинамического подобия  $Eu_n = Eu_m$ .

3.4. Диафрагма размерами  $d = 100 \text{ мм}$  и  $D = 200 \text{ мм}$ , предназначенная для измерения расхода воздуха, тарируется путем испытания на воде. В результате испытаний получено, что минимальный расход воды, начиная с которого коэффициент расхода диафрагмы остается постоянным, равен  $Q_{\text{мин}} = 16 \text{ л/с}$  и при этом показания ртутного дифманометра, измеряющего перепад давлений на диафрагме, равны  $h_{\text{рт}} = 45 \text{ мм}$ .

Определить  $Q_{\min}$  при работе диафрагмы на воздухе и соответствующие этому расходу воздуха показания водяного дифманометра  $h_{\text{в}}$ , присоединенного в тех же точках.

Значения кинематической вязкости и плотности для воды и воздуха учесть из задачи 3.3.

*Указание.*

Значениям расхода  $Q_{\min}$  при работе диафрагмы на различных жидкостях отвечает одинаковая величина числа Рейнольдса, представляющая границу зоны турбулентной автомодельности.

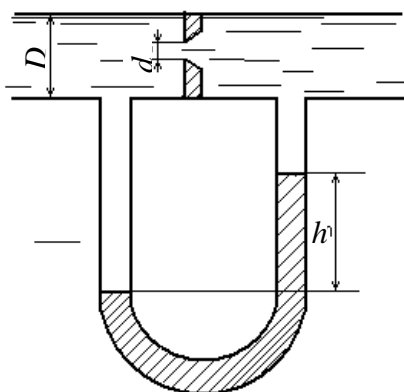


Рисунок к задаче 3.4

3.5. Определить режим движения воды в пожарном рукаве, если расход воды  $Q$ , диаметр рукава  $d_p$ . Коэффициент кинематической вязкости воды  $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 3.5

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	3,4	7	3,4	7	10,4	6,8	10,4	14	21	28
$d_p$ , мм	51	51	66	66	66	77	77	77	77	77

3.6. Трубы, используемые в противопожарном водоснабжении, имеют минимальный диаметр  $d = 50$  мм и максимальный диаметр  $D = 1500$  мм. Расчетные скорости движения воды в них  $V = 0,5 - 4$  м/с. Определить минимальное и максимальное значения расходов воды, а также чисел Рейнольдса и режим движения воды в этих трубопроводах ( $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ).

3.7. Определить режим движения нефти в трубе при следующих данных: массовый расход  $m = 9,81$  кг/с, плотность нефти  $\rho_n = 850$  кг/м<sup>3</sup>, диаметр трубопровода  $d = 0,1$  м, динамический коэффициент вязкости  $\mu = 0,0968$  Па·с.

3.8. Определить диаметр трубопровода, по которому подается вода с расходом  $Q = 1,5$  л/с, из условия получения в нем максимально возможной скорости течения при сохранении ламинарного режима. Температура воды  $20$  °С.

3.9. Определить значение числа Вебера  $We$  для капли воды диаметром  $100$  мк, движущейся со скоростью  $20$  м/с. Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 0,073$  н/м, а плотность –  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3.10 Труба Вентури с входным диаметром  $D = 300$  мм и горловиной  $d = 150$  мм, предназначенная для измерения расхода керосина, тарируется путем испытания ее модели, выполненной в масштабе 1:3 от природы, на воде.

Определить, каким должен быть расход воды  $Q_M$  в модели для соблюдения подобия, если расход керосина в натурной трубе равен  $Q_N = 100$  л/с. Значения кинематической вязкости воды при  $t = 20$  °С составляет  $\nu = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, а керосина  $\nu = 4,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Каковы будут потери напора  $h$  и перепад давления  $\Delta p$  в натурном расходомере (см. рисунок к задаче 3.10.), если при испытании модели на расходе, обеспечивающем соблюдение подобия, получено  $h = 0,2$  м и  $\Delta p_M = 10$  кПа. Плотность керосина  $\rho = 820$  кг/м<sup>3</sup>, а воды –  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

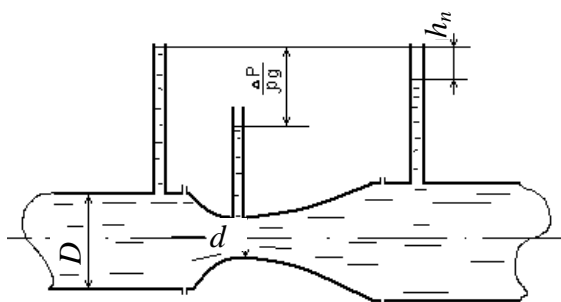


Рисунок к задаче 3.10

4.9. Определить потери напора в счетчике воды при минимальном расходе и коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta$ , если минимальный расход через счетчик  $Q_{min}$ , максимальный  $Q_{max}$ , диаметр условного прохода счетчика  $d$ , потери напора при максимальном расходе  $h_{max} = 10$  м. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 4.9

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q_{\min}$ м <sup>3</sup> /ч	0,07	0,01	0,16	0,3	1,5	2	3	4	6	15
$Q_{\max}$ м <sup>3</sup> /ч	17	10	16	30	70	110	180	350	600	1000
$d$ , мм	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250

4.13. Восстановление пожарного объема  $W$  воды в водоеме осуществляется от городской водопроводной сети по тупиковой стальной горизонтальной трубе сильно заржавевшей, диаметром  $d = 100$  мм и длиной  $l$  (рисунок к задаче 4.13), на трубе имеется задвижка и на выходе поворот под  $90^\circ$  (колесо). Максимальный срок восстановления пожарного объема воды должен быть не более 24 ч.

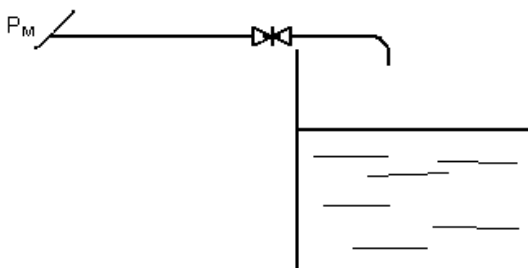


Рисунок к задаче 4.13

Определить расход воды  $Q$ , л/с и допустимое минимальное давление в магистральной городской сети  $p_{\min}$ . Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 4.13

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$W$ , м <sup>3</sup>	200	500	800	400	600	1000	2000	700	1000	1800
$l$ , м	500	200	250	150	180	220	210	250	200	120

4.14. Если непосредственный забор воды из водоема автонасосами или мотопомпами на нужды пожаротушения затруднен или вода забирается из резервуара чистой воды, следует предусматривать приемный (мокрый колодец) объемом 3 – 5 м<sup>3</sup>. Перед приемным колодцем следует устраивать сухой колодец с задвижкой, штурвал которой должен быть выведен под крышку люка (рисунок к задаче 4.14).

Диаметр трубопровода, соединяющий водоем или резервуар с приемным колодцем, следует принимать из условий пропуска расчетного расхода воды на пожаротушение, но не менее 200 мм. На входе в трубопровод должна быть решетка или сетка для защиты от попадания мусора в колодец.

Определить требуемый диаметр трубопровода, если длина его  $l$ , расход воды на пожаротушения  $Q$ . Трубопровод стальной, старый, сильно заржавевший. Исходные данные в таблице.

Таблица к задаче 4.14

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	60	100	120	140	180	200	160	80	300	240
$l$ , м	20	60	40	80	140	160	30	200	50	70

*Указания.*

Забор воды с полным расходом на пожаротушение должен быть обеспечен при самом низком уровне воды в водоеме или резервуаре в течение всего расчетного периода тушения пожара. При этом уровень воды в приемном колодце должен быть выше всасывающей сетки автонасоса на  $0,3 \div 0,5$  м, чтобы не допустить образования воронки, подсоса воздуха и, как следствие, срыва работы автонасоса. Исходя из этих соображений, разность уровней в резервуаре (водоеме) при наихудших условиях (самый низкий уровень воды в резервуаре) принять равным  $H_1 - H_2 = 0,5$  м.

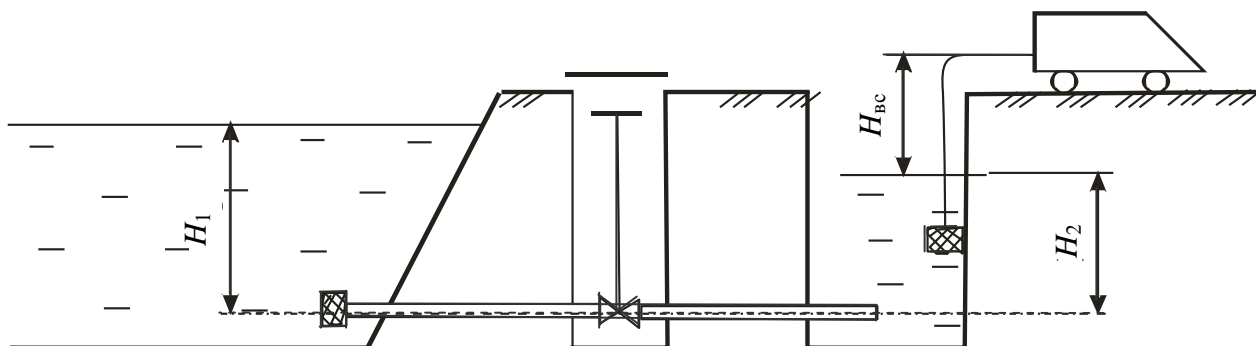


Рисунок к задаче 4.14

4.17. Для сохранения пожарного запаса воды в резервуарах чистой воды при насосной станции второго подъема объединенного водопровода всасывающие линии хозяйственных насосов оборудованы воздушной трубкой малого диаметра (рисунок к задаче 4.17). Верхний срез трубки находится на уровне пожарного запаса в резервуаре. Если при снижении уровня воды до пожарного запаса воздух вследствие вакуума проникает через трубку во всасывающий трубопровод хозяйственных насосов, происходит срыв работы насосов, и забор воды прекращается.

Определить величину абсолютного давления в сечении II-II всасывающего трубопровода насоса, если диаметр трубы  $d_{вс}$ , расход воды  $Q$ . Труба оборудована всасывающей сеткой с клапаном и имеет колено. Длина трубопровода – 2 м, шероховатость  $\Delta = 1$  мм. Уровень неприкосновенного пожарного запаса воды находится на высоте  $H = 3$  м выше оси всасывающей трубы. Сохранится ли неприкосновенный пожарный запас воды? Если пожарный запас воды не сохранится, то какие конструктивные изменения следует предложить? Исходные данные приведены в таблице.

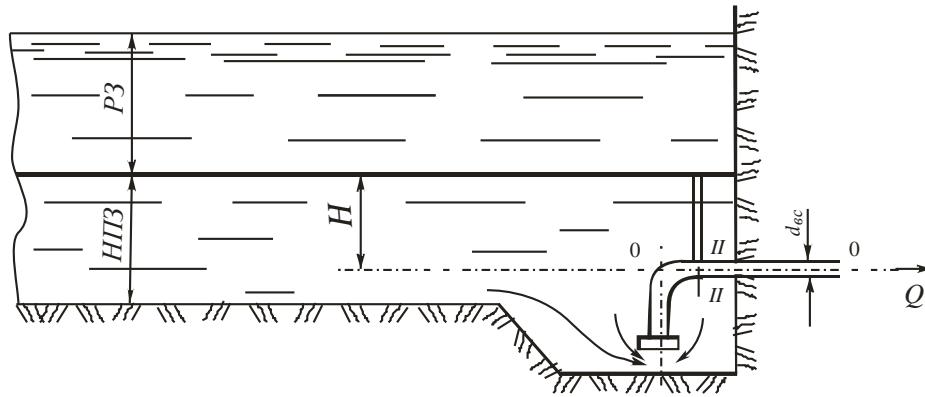


Рисунок к задаче 4.17

Таблица к задаче 4.17

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	20	25	30	35	40	45	50	60	65	70
$d_{вс}$ , мм	100	150	125	100	125	200	250	150	200	250

4.21. Из водоема  $A$  (рисунок к задаче 4.21) в приемный колодец  $D$  вода при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$  поступает по сифону  $ABCD$  диаметром 200 мм, с абсолютной шероховатостью стенки трубы  $\Delta = 1$  мм. Коэффициенты сопротивлений поворотов  $B$  и  $C$  принять равными  $\zeta_{\text{кол}} = 0,2$ . Длина сифона  $l_{ABCD} = 80$  м. Разность уровней воды в водоеме  $A$  и приемном колодце  $D$  равна  $H_1 - H_2 = 1$  м. Определить расход воды  $Q$  через сифон.

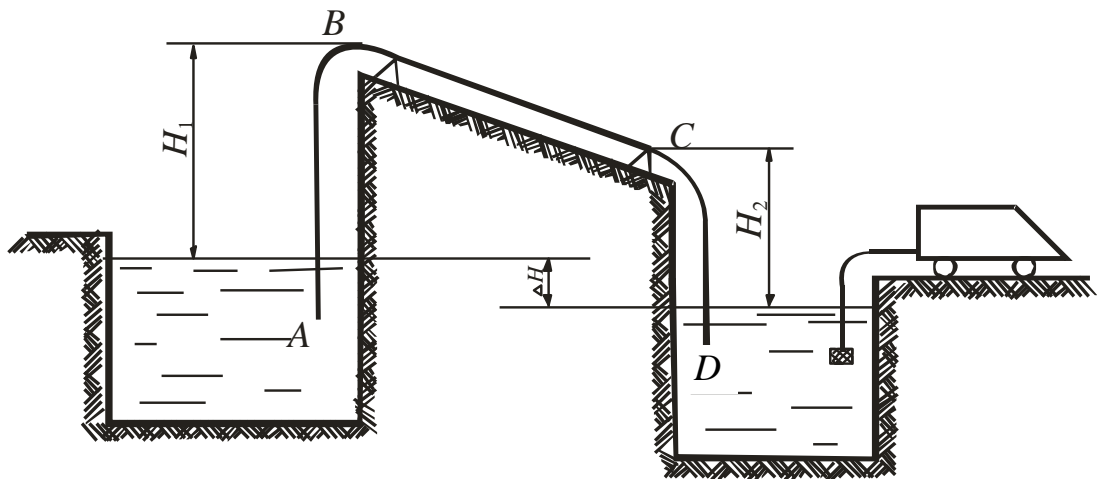


Рисунок к задаче 4.21

4.22. Определить вакуум в точке  $B$  сифона в задаче 4.21. Значения  $H_1$  и  $l_{AB}$  взять из таблицы.

Таблица к задаче 4.22

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	20	25	30	35	40	45	50	60	65	70
$d_{вс}$ , мм	100	150	125	100	125	200	250	150	200	250

4.23. Определить вакуум в точке  $C$  сифона в задаче 4.21. Значения  $H_2$  и  $l_{AD}$  взять из таблицы.

Таблица к задаче 4.23

Номер Варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_2$ , м	1,3	2	3	2,5	4	3,5	4,2	4,8	5	5,5
$l_{AD}$ , м	3,3	4	5	4,5	6	5,5	6,2	6,8	7	7,5

4.24. По трубе диаметром  $d$  и длиной  $l$  перекачивается вода с расходом  $Q$ . Определить давление  $p_2$  в сечении 2-2, если в сечении 1-1, расположенном на высоте  $H$  (рисунок к задаче 4.24), давление равно  $p_1$ . Температура перекачки воды  $t$ , эквивалентная шероховатость стенок трубы  $\Delta$ , коэффициент сопротивления задвижки  $\zeta_{задв.}$ , поворота –  $\zeta_{пов.}$ . Данные для решения задачи приведены в таблице.

Таблица к задаче 4.24

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d$ , мм	40	20	150	80	50	20	40	100	150	100
$l$ , м	100	100	50	50	80	50	70	100	100	50
$p_1 \cdot 10^5$ , Па	5	6	8	7	6	10	9	11	7	9
$t$ , °C	5	5	10	15	5	10	15	10	5	10
$\Delta$ , мм	1	1	0,75	1,5	0,73	1	1,3	1,2	0,75	1
$\zeta_{\text{задв}}$	4,9	8	4,6	4,2	2,2	6	4,9	4,1	4,4	4,1
$\zeta_{\text{пов}}$	0,4	0,35	0,3	0,45	0,2	0,5	0,6	0,2	0,4	0,25
$Q$ , л/с	2	0,5	56,2	16	5	1	4	12,5	28,1	25
$H$ , м	2	3	5	4	8	2	4	3,5	3	6

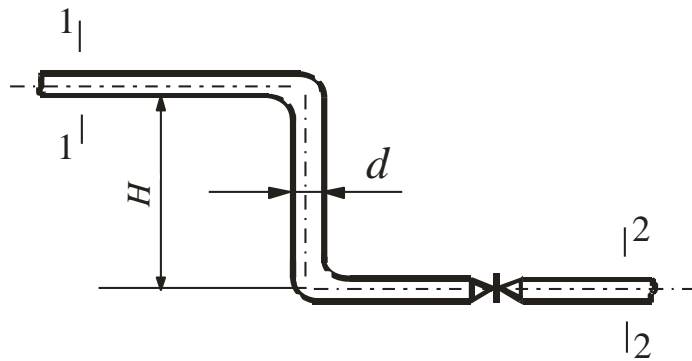


Рисунок к задаче 4.24

4.25. Вода по трубопроводу диаметром  $d$  и длиной  $l$  перекачивается с расходом  $Q$ . Уровень воды в резервуаре постоянный и равен  $H$  (рисунок к задаче 4.25). Определить давление при входе в насос, если температура воды равна  $t$ , эквивалентная шероховатость стенок трубы  $\Delta$ , коэффициент сопротивления задвижки  $\zeta_{\text{задв}}$ , поворота –  $\zeta_{\text{пов}}$  (коэффициент сопротивления входа в трубопровод  $\zeta_{\text{вх.}} = 0,5$ ). Числовые значения параметров приведены в таблице

Таблица к задаче 4.25

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d$ , мм	75	250	150	125	100	80	90	75	200	150
$l$ , м	20	10	15	18	12	14	16	25	30	20
$Q$ , л/с	10	20	15	12	10	8	10	8	15	12
$H$ , м	8	6	4	10	7	5	6	8	4	6
$t$ , °C	20	15	10	20	15	10	20	15	10	20



$\Delta$ , мм	1	0,75	0,5	1	0,75	0,5	1	0,75	0,5	1
$\zeta_{\text{задв}}$	0,6	5	3	2	4	3	2	4	5	3
$\zeta_{\text{пов}}$	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4

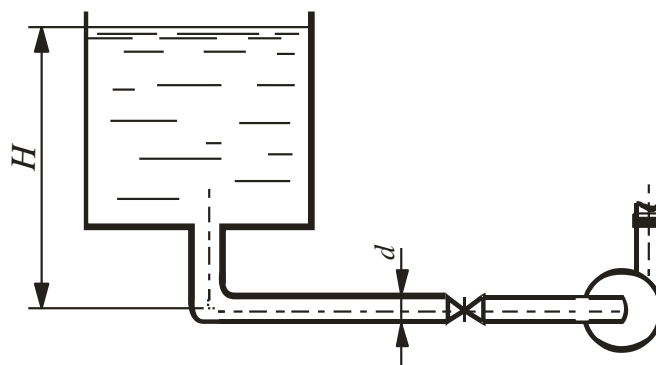


Рисунок к задаче 4.25

4.26. Определить допустимую высоту установки центробежного насоса над уровнем воды  $H_{\text{вс}}$  (рисунок к задаче 4.26), перекачивающего воду с температурой  $t$  в количестве  $Q$ , если вакууметрическая высота всасывания насоса  $H_{\text{вак.}}$ . Диаметр трубы  $d$ , длина  $l$ , эквивалентная шероховатость стенок трубы  $\Delta$ . Коэффициент сопротивления клапана с сеткой  $\zeta_{\text{кл}}$ , поворота –  $\zeta_{\text{пов}}$ . Решить задачу при числовых значениях параметров, указанных в таблице.

Таблица к задаче 4.26

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{\text{вак.}}$ , м	4,8	5	5,4	5,8	6	2	2,4	2,8	3,4	3,8
$d$ , мм	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
$l$ , м	1,6	3	5	8	12	15	17	18	20	1,5
$Q$ , л/с	48	5	10	16	19	22	25	30	13	8
$\zeta_{\text{кл}}$	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
$\zeta_{\text{пов}}$	0,37	0,4	0,45	0,48	0,5	0,2	0,23	0,27	0,31	0,35
$\Delta$ , мм	0,15	0,21	0,29	0,35	0,46	0,58	0,69	0,8	0,92	1

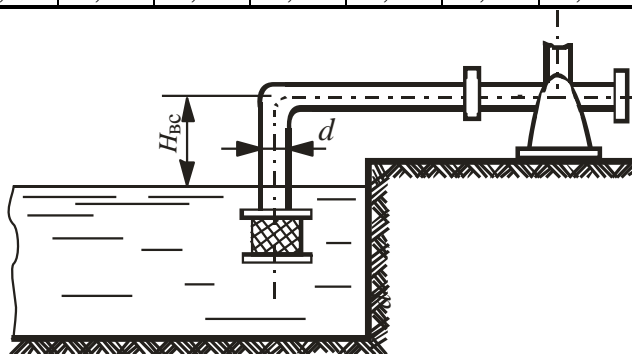


Рисунок к задаче 4.26

4.28. С помощью насоса, поддерживающего давление  $p_{\text{ман}}$  в пункте  $A$  вода должна подаваться в пункт  $B$  в количестве  $Q$  по новой чугунной водопроводной трубе длиной  $l$ . Местность горизонтальная. Требуется определить диаметр трубы, если давление в конце трубы равно 1,2 атм. Расчётные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 4.28

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_{\text{ман}}$ , атм	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	7,5
$Q$ , л/с	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$l$ , м	1400	1500	1700	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000

5.4. Найти коэффициенты сжатия, скорости, расхода и сопротивления при истечении воды из резервуара в атмосферу через отверстие диаметром  $d$ , мм. Исходные данные приведены в таблице ( $H$  – глубина погружения центра отверстия,  $p$  – показание манометра, установленного на крыше резервуара,  $d_c$  – диаметр сжатого сечения струи,  $Q$  – расход воды). Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 5.4

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q$ , л/с	0,36	0,52	0,7	0,92	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8
$H$ , м	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$p$ , Па	$2 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$
$d$ , мм	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$d_c$ , мм	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16	17,6	19,2	20,8	22,4

5.5. Определить расход воды через отверстие с острой кромкой диаметром  $d$ , мм, выполненное в стенке бака. Показание манометра  $p$ , Па, а высота расположения манометра над осью отверстия  $H$ , м. Коэффициенты истечения из отверстия принять по рисунку к задаче 5.5. Построить зависимость расхода воды от давления при постоянном значении  $H$ . Исходные данные приведены в таблице.

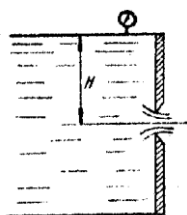


Рисунок к задаче 5.5

Таблица к задаче 5.5

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$p$ , Па	$1,8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$0,8 \cdot 10^4$	$0,6 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^4$	0
$H$ , м	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	3,4
$d$ , мм	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20

5.8. Определить напор, при котором в сжатом сечении струи воды при истечении через цилиндрический насадок появляется кавитация. Определить расход воды. Температуру воды  $t$ , соответствующее давление насыщения водяных паров  $p_n$  и диаметр насадка  $d$  брать из таблицы.

Таблица к задаче 5.8

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , °С	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$p_n \cdot 10^{-1}$ Па	813	935	1072	1227	1400	1598	1817	2063	2337	2642
$d$ , мм	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12

5.10. Пополнение колодца водой, используемой для тушения пожара, осуществляется через цилиндрический насадок, соединяющий колодец с резервуаром. Определить диаметр насадка  $d$ , мм, необходимый для создания расхода воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, при напоре  $H$ , м. Найти глубину воды в колодце  $h$ , м, при которой разрежение в насадке не превышает  $h_{\text{вак}}$ , м. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 5.10

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$H$ , м	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
$h_{\text{вак}}$ , м	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0

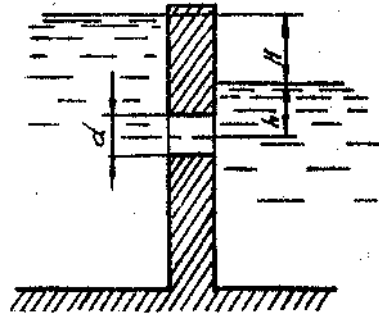


Рисунок к задаче 5.10

5.12. Гарантированный напор воды перед насадком равен  $H$ , м. Определить наименьший стандартный диаметр насадка, обеспечивающий струю с расходом  $Q$ , л/с. Коэффициент расхода насадка принять равным  $\mu = 0,98$ . Какой требуется напор перед выбранным стандартным насадком пожарного ствола, обеспечивающий расход  $Q$ , л/с? Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 5.12

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H$ , м	10	20	30	40	50	40	30	20	10	50
$Q$ , л/с	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

5.18. Из резервуара II отбирается на пожаротушение расход воды  $Q = 20$  л/с. Определить, обеспечивается ли поступление этого расхода воды из резервуара I в резервуар II по системе трубопроводов, если известно, что  $l_1 = 0,2 L$ ;  $l_2 = 0,45 L$ ;  $l_3 = 0,3 L$ ;  $d_1/d_2 = 0,9$ ;  $d_2/d_3 = 0,8$ ;  $L = 200$  м;  $d_3 = 150$  мм;  $H = 10$  м.

Пополнение резервуара II происходит при постоянной величине разности уровней воды  $H$ , м, в резервуарах I и II. Абсолютная шероховатость стенок труб составляет 0,5 мм.

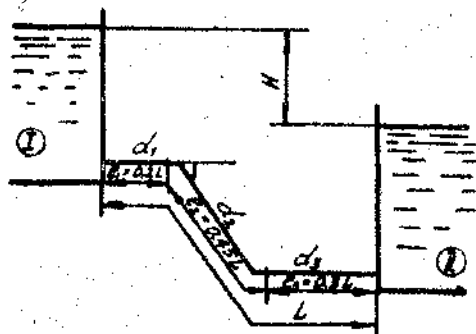


Рисунок к задаче 5.18

5.20. Пожарный автомобиль забирает воду из колодца, в который вода поступает из резервуара чистой воды через трубу длиной 50 м. Определить, какой должен быть стандартный диаметр трубы, чтобы при расходе воды 30 л/с разность уровней воды  $H = 2$  м оставалась неизменной. Коэффициент сопротивления задвижки  $\xi = 4$ , высота выступов шероховатости в трубе  $\Delta = 1$  мм.

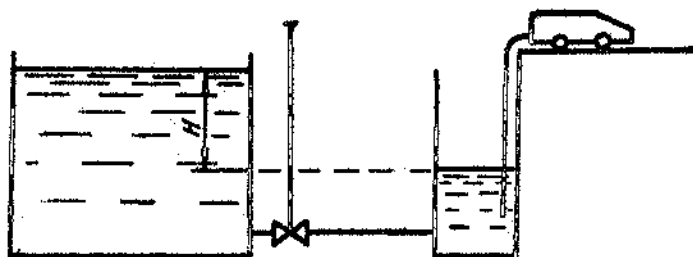


Рисунок к задаче 5.20

5.22. Определить время опорожнения резервуара с нефтью. Диаметр резервуара  $d = 10$  м, начальный уровень нефти в резервуаре  $H = 12$  м. Аварийный слив нефти осуществляется через трубу диаметром  $d = 125$  мм, длиной 30 м. На трубе установлена задвижка.

При решении учесть коэффициенты сопротивления на входе в трубу, задвижки, поворота трубы и коэффициент сопротивления трения. Высота выступов шероховатости в трубе  $\Delta = 1$  мм. Считать, что труба работает в квадратичной области сопротивлений.

5.23. Определить необходимый диаметр трубы для аварийного слива спирта из цилиндрического вертикального резервуара  $D = 5$  м, чтобы время опорожнения резервуара не превышало 5 мин. Начальный уровень спирта  $H = 12$  м. Длина трубы 30 м. На трубе установлена задвижка.

При решении задачи учесть коэффициенты сопротивления на входе в трубу, задвижки, поворота трубы и коэффициент сопротивления трения. Высота выступов шероховатости в трубе  $\Delta = 2$  мм. Считать, что труба работает в квадратичной области сопротивлений.

Задачу следует решать методом последовательного приближения, задаваясь предварительно значением диаметра трубы с последующим уточнением.

5.24. Определить, какое постоянное абсолютное давление газа следует поддерживать на поверхности ацетона в резервуаре, чтобы его аварийный слив происходил в 2 раза быстрее, чем при атмосферном давлении.

Определить время снижения уровня жидкости от  $H_1 = H = 6$  м до  $H_2 = 2$  м. Цилиндрический вертикальный резервуар имеет диаметр 5 м. Аварийный слив происходит через трубу диаметром  $d = 100$  мм, длиной  $l = 10$  м, на трубе установлена задвижка. Плотность ацетона  $\rho = 790$  кг/м<sup>3</sup>.

При решении задачи учесть коэффициенты трения на входе в трубу, задвижки, поворота трубы и коэффициент сопротивления трения. Высота выступов шероховатости в трубе  $\Delta = 3$  мм. Считать, что труба работает в квадратичной области сопротивлений.

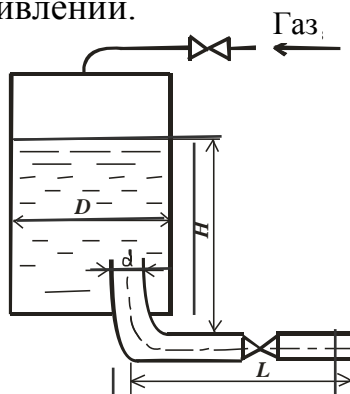


Рисунок к задаче 5.24

6.1. Рассчитать расход воды из ствола, радиус действия компактной части струи, радиус действия раздробленной части струи при различных углах наклона ствола, если давление перед насадком  $p = 4 \cdot 10^5$  Па. Коэффициент расхода принять равным  $\mu = 0,98$ . Значения диаметров насадков приведены в таблице.

Таблица к задаче 6.1

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_n$ , мм	13	16	19	22	25	28	32	38	50	63

Сравнить полученные результаты с табличными. Построить на миллиметровой бумаге в масштабе сгибающую кривую компактной и раздробленной части струи при различных углах наклона ствола.

6.2. Рассчитать необходимый напор перед насадком с диаметром сечения  $d$ , мм, если требуется получить струю с радиусом компактной части  $S_k$ , м.

Сравнить полученное значение с табличным. Сравнить результаты, получаемые по формулам Люггера и Фримана. Коэффициент расхода для насадка принять равным 0,98. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 6.2

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_n$ , мм	13	16	19	22	25	22	19	16	13	16
$S_k$ , м	17	18	19	20	21	22	23	24	23	22

6.3. Рассчитать напор, при котором получается максимальный радиус компактной части струи, вытекающей из насадка диаметром 22 мм. Построить график зависимости максимального радиуса компактной части от диаметра насадка.

6.4. По условиям тушения пожара требуется струя с радиусом компактной части  $S_k$ , м, и расходом воды  $Q$ , л/с. Рассчитать диаметр насадка и необходимый напор перед ним, обеспечивающий тушение пожара. Коэффициент расхода принять равным 1. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 6.4

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_k$ , м	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$Q$ , л/с	2,5	5	7,5	10	2,5	5	7,5	10	7,5	5

6.5. Рассчитать максимальную величину  $S_{в. \max}$  для ствола с насадком  $d = 19$  мм. При каком давлении перед насадком  $S_{в.} = 0,95S_{в. \max}$ . Сравнить результаты, получаемые по формулам Люгера и Фримана.

6.6. Рассчитать реакцию струи, если давление перед насадком ствола  $p = 4 \cdot 10^5$  Па. Значение диаметра насадка взять из таблицы.

Таблица к задаче 6.6

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_n$ , мм	13	16	19	22	25	28	32	38	50	63

6.7. Определить реакцию струи, вытекающей из насадка диаметром  $d = 25$  мм, при напоре  $H = 50$  м. Построить на миллиметровой бумаге зависимость реакции струи от диаметра насадка (при  $H = \text{const}$ ) и от напора (при  $d = \text{const}$ ).

6.8. При расчете пожарной автолестницы принято, что реакция струи не должна превышать величины  $F$ , при напоре перед насадком  $H$ , м.

Определить максимальный допустимый диаметр насадка. Во сколько раз изменится реакция струи, если диаметр насадка уменьшится в  $n$  раз?

Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 6.8

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F \cdot 10^{-2}$ , Н	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
$H$ , м	50	60	50	60	50	60	60	60	60	70

6.9. Вывести формулу для определения реакции струи, вытекающей из насадка диаметром  $d_n$ , мм, учитывая, что скорость движения воды перед насадком (в стволе) не равна нулю. Диаметр ствола  $D$ , мм, расход воды  $Q$ , л/с.

Рассчитать реакцию струи и сравнить ее величину со значением, получаемым по формуле (8.8). Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 6.9

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_n$ , мм	13	16	19	22	25	28	32	38	50	63
$D$ , мм	50	50	70	70	70	80	100	100	100	100
$Q$ , л/с	4	5,6	7,5	10	12,5	15	20	25	40	50

6.10. Определить силу удара  $P$  струи о вертикальную преграду ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$ ;  $\beta = 0$ ), если давление перед насадком ствола равно  $4 \cdot 10^5$  Па. Значение диаметра насадка взять из таблицы к задаче 6.6. Диаметр струи считать равным диаметру насадка. Как изменится сила удара, если диаметр струи увеличится в два раза, а расход воды в струе останется постоянным?

7.1. Длина трубопровода  $l$ , скорость истечения воды при установившемся режиме  $V_{уст}$ , показания манометра  $p_m$ ,  $H = 2$  м. Определить, через какой промежуток времени наступит установившейся режим истечения при мгновенном вскрытии распылителя. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 7.1

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l$ , м	10	15	20	15	30	35	40	45	50	55
$V_{уст}$ , м/с	12	18	23	20	25	21	19	17	15	14
$p_m \cdot 10^5$ , Па	6	7	8	9	10	9	8	7	8	9



7.4. Определить повышение давления в чугунном трубопроводе перед задвижкой после мгновенного автоматического отключения водонапорной башни при пожаре, рассчитать напряжение в стенках трубопровода и сравнить с допустимым. Начальное избыточное давление у задвижки  $P_m = 2 \cdot 10^5$  Па, расход воды  $Q$ , диаметр трубопровода  $d$ , толщина стенок  $\delta = 4$  мм. Исходные данные приведены в таблице к задаче 7.4.

Таблица к задаче 7.4

Номер Варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
$d, \text{мм}$	100	125	150	200	250	200	150	125	100	200

*Указание*. Напряжение в стенках трубопровода рассчитывать по формуле

$$\sigma = pd/2\delta, \text{ где } p = \Delta p + p_p.$$

7.5. Найти необходимую толщину стенок прорезиненных рукавов диаметром  $d$ , мм, чтобы напряжение в стенках при мгновенном перекрытии не превышало  $\sigma = 25 \cdot 10^5$  Па. Рассчитать фазу удара. Скорость распространения ударной волны  $c = 100 \text{ м/с}$ . Расход воды равен  $Q$ , начальное давление  $P_p = 1,5 \cdot 10^5$  Па, количество рукавов  $n = 5$ . При решении учесть указание к задаче 7.4. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 7.4

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q, \text{л/с}$	3	5	1	12	3,5	5,5	8	10	6	7,5
$d, \text{мм}$	51	66	77	89	51	66	77	89	66	77

7.6. Определить, какое время нужно закрывать затвор, чтобы повышение давления в трубопроводе было в два раза меньше, чем при мгновенном закрытии. Расход воды  $Q$  проходит по стальному трубопроводу диаметром  $d$  и толщиной стенки 3 мм. Длина трубопровода от водонапорного бака до затвора  $\ell$ . Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 7.6

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
$l, \text{м}$	500	400	300	200	1000	900	800	700	600	500
$d, \text{мм}$	100	125	150	200	250	300	250	200	150	125

7.7. Из бака с постоянным уровнем жидкости  $H$  через трубу длиной  $l$  и диаметром  $d$  вытекает вода. Коэффициент местного сопротивления задвижки  $\zeta = 6$ , коэффициент сопротивления трения  $\lambda = 0,03$ . Толщина стенок  $\delta = 5$  мм. Сравнить величину повышения давления при мгновенном закрывании задвижки для стальной и чугунных труб. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 7.7

Номер Варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{м}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$l, \text{м}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$d, \text{м}$	50	60	70	80	100	50	60	70	80	100

7.8. Стальной водовод от насосной станции до водонапорной башни имеет длину  $l$ , диаметр  $d$ , толщину стенок 5 мм. Напор воды перед водонапорной башней равен  $H$ , расход воды  $Q$ .

Определить время закрывания задвижки и напряжение в стенках трубопровода, чтобы максимальное повышение давления не превышало  $30 \cdot 10^4$  Па. Исходные данные приведены в таблице.

Таблица к задаче 7.8

Номер варианта Предпоследняя цифра зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, \text{м}$	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
$d, \text{м}$	125	150	200	250	300	350	400	125	200	250
$H, \text{м}$	80	70	60	50	80	70	60	50	80	90
$Q \text{м}^3/\text{с}$	0,02	0,025	0,04	0,07	0,1	0,15	0,2	0,015	0,03	0,08

8.3. Какое давление должен обеспечить вентилятор, чтобы подать  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  воздуха при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  по воздуховоду длиной  $300 \text{ м}$ , диаметром  $500 \text{ мм}$ , с шероховатостью стенки  $\Delta = 0,1 \text{ мм}$ . Воздуховод имеет 4 поворота под углом  $90^\circ$ . Давление на выходе из воздуховода атмосферное.

*Указание.* Местный коэффициент сопротивления поворота  $\zeta = 1,1$ .

Значение коэффициента динамической вязкости сухого воздуха при атмосферном давлении и  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $\mu = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , а плотности  $\rho = 1,205 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

8.4. По трубопроводу диаметром  $100 \text{ мм}$ , длиной  $200 \text{ м}$  подается сжатый азот при избыточном давлении  $1 \text{ МПа}$  и температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  постоянной по длине трубопровода. Определить массовый расход азота, если избыточное давление в конце трубопровода должно быть  $0,5 \text{ МПа}$ . Коэффициент динамической вязкости азота  $17,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ , значение газовой постоянной  $R = 296,8 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Труба бесшовная стальная, после нескольких лет эксплуатации.

8.6. Определить расход азота в газопроводе, состоящем из последовательно соединенных стальных трубопроводов диаметром  $d_1 = 150 \text{ мм}$ ,  $d_2 = 100 \text{ мм}$ ,  $d_3 = 50 \text{ мм}$ .

Длина трубопроводов  $l_1 = 250 \text{ м}$ ,  $l_2 = 100 \text{ м}$ ,  $l_3 = 50 \text{ м}$ .

Абсолютное давление в начальном сечении  $p_1 = 2 \text{ МПа}$ ; общий перепад давления  $\Delta p = 0,4 \text{ МПа}$ .

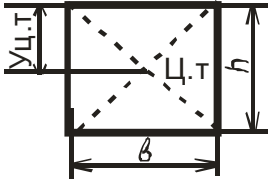
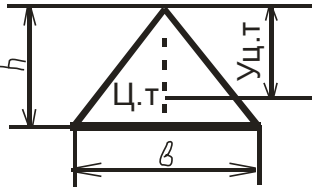
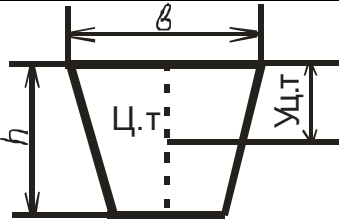
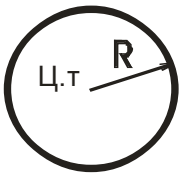

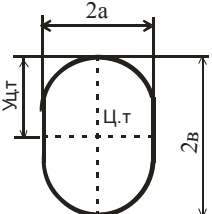
Температура газа  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  и по длине трубопровода не меняется.  $\mu, R, \Delta$  – см. задачу 8.4.

8.7. Определить диаметр трубопровода установки газового пожаротушения, если должна быть обеспечена подача  $Q_T = 2,5 \text{ кг}/\text{с}$  азота при избыточном давлении  $0,5 \text{ МПа}$ .

Избыточное давление в начале трубопровода поддерживается  $0,7 \text{ МПа}$ , а его длина  $l = 80 \text{ м}$ . Температура газа постоянна и равна  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $\mu, R, \Delta$  – см. задачу 8.4.

*Указание.* Для решения задачи использовать метод последовательных приближений. В первом приближении принять  $\lambda = 0,02$ .

Момент инерции  $J_o$  плоских фигур относительно оси, проходящей через центр тяжести

Фигура	$J_o$	Координата центра тяжести, $y_{ц.т.}$	площадь, $\omega$
 <p>Прямоугольник</p>	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{1}{2}h$	$bh$
 <p>Равнобедренный треугольник</p>	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{1}{2}hb$
 <p>Трапеция</p>	$\frac{1}{36}h^3 \frac{a^2 + 4ab + b^2}{a + b}$	$\frac{1}{3}h \frac{a + 2b}{a + b}$	$\frac{1}{2}h(a + b)$
 <p>Круг</p>	$\frac{1}{4}\pi R^4$	$R$	$\pi R^2$
 <p>Полукруг</p>	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi}R^4$	$\frac{4}{3}\frac{R}{\pi}$	$\frac{1}{2}\pi R^2$
 <p>Эллипс</p>	$\frac{1}{4}\pi ab^3$	$b$	$\pi ab$

**Значения плотности воды в зависимости от температуры**

$t, ^\circ\text{C}$	0	4	10	20	30
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,87	1000	999,73	998,23	995,67

**Значение кинематической вязкости  $\nu$  воды в зависимости от температуры**

$t, ^\circ\text{C}$	0	5	10	12	15	20	30	40	50
$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	1,78	1,52	1,31	1,24	1,14	1,01	0,81	0,66	0,55

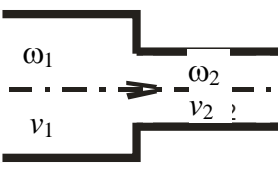
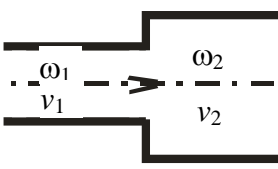
### Границы областей сопротивлений и формулы для расчёта коэффициента гидравлического сопротивления

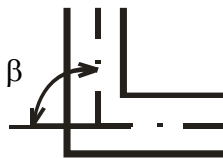
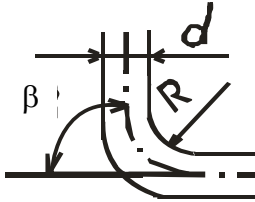
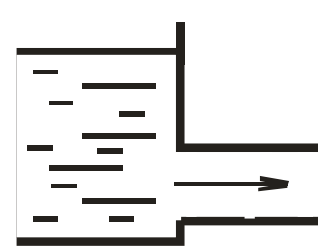

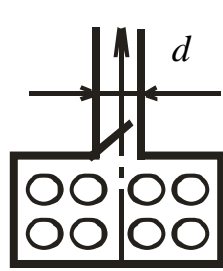
Режим течения	Область сопротивления	Границы области	Формула для расчёта	
Ламинарный	Область, соответствующая ламинарному режиму	$Re < 2300$	Формула Пуазейля: $\lambda = \frac{64}{Re}$	
Область перехода от ламинарного режима к турбулентному		$2300 < Re < 4000$	$\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}}$	
Турбулентный	Область гидравлических гладких труб	$4000 < Re < 10d/\Delta$	Формула Блазиуса: $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	Для всей области турбулентного режима течения: $\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$
	Область смешанного трения	$10d/\Delta \leq Re \leq 500d/\Delta$	Формула Альтшуля: $\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$	
	Область гидравлических шероховатых труб	$Re > 500d/\Delta$	Формула Шифринсона: $\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$	

**Значение абсолютной шероховатости внутренней поверхности  
труб  $\Delta$ , мм**

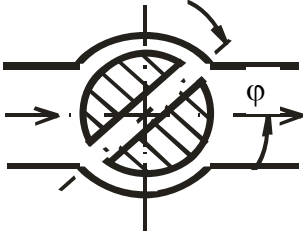
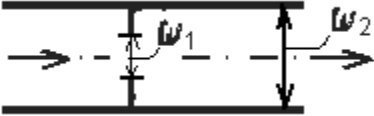
Материал и вид трубы	Состояние трубы	$\Delta$ , мм
Тянутые из стекла и цветных металлов	Новые, технические гладкие	$0,000 \div 0,002 \approx 0,001$
Бесшовные стальные	Новые и чистые, тщательно уложенные	$0,01 \div 0,2 \approx 0,014$
	После нескольких лет эксплуатации	$0,15 \div 0,3 \approx 0,20$
Стальные сварные	Новые и чистые	$0,03 \div 0,1 \approx 0,6$
	С незначительной коррозией после очистки	$0,1 \div 0,2 \approx 0,15$
	Умеренно заржавевшие	$0,3 \div 0,7 \approx 0,5$
	Старые заржавевшие	$0,8 \div 1,5 \approx 1,0$
	Сильно заржавевшие или с большими отложениями	$2,0 \div 4,0 \approx 3,0$
Чугунные	Новые асфальтированные	$0,1 \div 0,16 \approx 0,12$
	Новые без покрытия	$0,2 \div 0,5 \approx 0,35$
	Бывшие в употреблении	$0,5 \div 1,5 \approx 1,0$
	Очень старые	до 3,0
Асбестоцементные	Новые	$0,05 \div 0,1 \approx 0,075$
Бетонные	Новые из предварительно напряжённого бетона	$0,01 \div 0,05 \approx 0,03$
	Новые центробежные	$0,15 \div 0,3 \approx 0,225$
	Бывшие в употреблении	$0,3 \div 0,8 \approx 0,55$
	Из необработанного бетона	$1,0 \div 3,0 \approx 2,0$

**Значения коэффициентов сопротивления для некоторых наиболее типичных  
местных сопротивлений при турбулентном режиме течения**

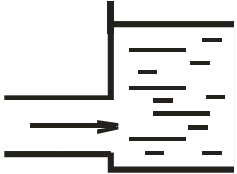
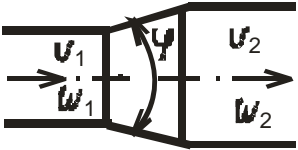
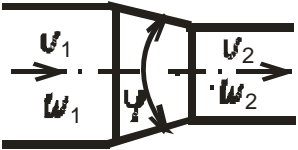
Вид местного сопротивления	Расчетные формулы
	<p>1. Внезапное сужение трубопровода</p> $\zeta_{в.с} = 0,5 \left( 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$ $h = \zeta_{в.с} \frac{V_2^2}{2g}$
	<p>2. Внезапное расширение трубопровода (теорема Борда – Карно)</p> $\zeta_{в.р} = \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2$ $h_{в.р} = \zeta_{в.р} \frac{V_1^2}{2g}$

	3. Резкий поворот (колесо без закругления)							
	$\beta^\circ$	30	40	50	60	70	80	90
	$\zeta$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1
	4. Плавный поворот (отвод) $\beta = 90^\circ; R/d \gg 1;$ $\zeta' = 0,051 + 0,19d/R;$ при $\beta = 70^\circ \quad \zeta = 0,9\zeta' \sin \beta$ при $\beta = 100^\circ \quad \zeta = \left( \frac{10,7\beta}{90 \cdot 0,35} \right) \zeta'$							
	5. Вход в трубу из резервуара  $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$							
Продолжение табл. 4.6								
Вид местного сопротивления				Расчетные формулы				
	6. Задвижка в трубе в зависимости от степени закрытия							
	$h/D$	0	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
	$\zeta$	0,12	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	47,8
	7. Обратный клапан с сеткой, устанавливаемый на всасывающих трубах насосов  $\zeta = 2,2/\sqrt{d},$ где $d$ – диаметр всасывающей трубы, м							



	8. Пробковый кран							
	$\phi^\circ$	5	10	–	20	25	30	35
	$\zeta$	0,24	0,52	–	1,54	–	3,91	–
	$\phi^\circ$	40	–	50	–	60	65	–
	$\zeta$	10,8	–	18,7	–	118	256	–
	9. Диафрагма в трубе							
	$\zeta = \left( 1 + \frac{0,707}{1 - \omega_1 / \omega_2} \right)^2 \cdot \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ <p><math>\omega_1</math> – площадь отверстия;  <math>\omega_2</math> – площадь трубы.</p>							

Окончание табл. 4.6

Вид местного сопротивления	Расчетные формулы																
	10. Выход из трубы в резервуар больших размеров $\zeta_{\text{вых}} = 1$																
	11. Диффузор $\zeta = k \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$																
	<table border="1"> <tr> <td><math>\phi^\circ</math></td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td><math>k</math></td> <td>0,17</td> <td>0,41</td> <td>0,71</td> <td>0,9</td> <td>1,03</td> <td>1,12</td> <td>1,13</td> </tr> </table>	$\phi^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	$k$	0,17	0,41	0,71	0,9	1,03	1,12	1,13
	$\phi^\circ$	10	20	30	40	50	60	70									
$k$	0,17	0,41	0,71	0,9	1,03	1,12	1,13										
	12. Конфузор $\zeta = k \zeta_{\text{в.с.}}$ <p>где <math>\zeta_{\text{в.с.}}</math> – коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении;  <math>k</math> – коэффициент смягчения</p>																

	$\varphi^\circ$	10	20	30	40	50	60	70
	$k$	0,4	0,21	0,19	0,17	0,18	0,2	0,22
	$\varphi^\circ$	80	90	100	120	140	–	–
	$k$	0,24	0,38	0,39	0,48	0,6	–	–
	13. Вентиль нормальный (при полном открытии)							
	$d, \text{мм}$	13	20	40	80	100	150	
	$\zeta$	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	

### Значение коэффициентов для труб из различных материалов

Материал труб	$B$	$n$
Неновые стальные и чугунные трубы	0,001735	5,3
Новые стальные	0,001478	5,226
Новые чугунные	0,001679	5,284
Асбестоцементные	0,001212	5,190
Железобетонные	0,001732	5,190
Пластмассовые	0,00111	5,226

### Значения $A$ и $k^2$ для стальных и чугунных труб

Стальные трубы						Чугунные трубы		
ГОСТ 3262-62			ГОСТ 8732-52			ГОСТ 5525-61		
Условный проход, мм	$A$ для $Q$ , л/с	$k^2$ для $Q$ , л/с	Условный проход, мм	$A$ для $Q$ , м <sup>3</sup> /с	$k^2$ для $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Условный проход, мм	$A$ для $Q$ , м <sup>3</sup> /с	$k^2$ для $Q$ , м <sup>3</sup> /с
15	8,81	0,113	126	106,0	0,00944	100	339,0	0,00295
20	1,64	0,61	132	82,8	0,0121	125	104,0	0,00961
25	0,437	2,31	139	62,8	0,0159	150	39,5	0,0253
32	0,0939	10,6	148	45,0	0,0222	200	8,61	0,116
40	0,0445	22,5	160	29,7	0,0337	250	2,64	0,379
50	0,0111	90,0	174	19,0	0,0526	300	0,986	1,01
70	0,00289	346,0	183	14,5	0,069	350	0,437	2,29
80	0,00117	854,0	199	9,27	0,108	400	0,219	4,57
100	0,000267	3740,0	225	4,82	0,207	450	0,119	8,40
125	0,0000862	11600,0	253	2,58	0,388	500	0,0678	14,8
150	0,0000340	29400,0	279	1,54	0,650	-	-	-
-	-	-	305	0,939	1,07	-	-	-

### Значения поправочных коэффициентов $\delta$

V, м/с	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
$\delta$	1,41	1,33	1,28	1,24	1,2	1,175	1,15	1,13	1,115
V, м/с	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	1,0	1,1	1,2
$\delta$	1,1	1,085	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,015	1,0

### Значения сопротивления пожарных рукавов

D, мм	Рукава прорезиненные		Рукава непрорезиненные	
	$S_{p, (c/l)^2}$ м	$A_{p, (c/l)^2}$	$S_{p, (c/l)^2}$ м	$A_{p, (c/l)^2}$
51	0,13	0,0065	0,24	0,012
66	0,034	0,0017	0,077	0,00385
77	0,015	0,00075	0,030	0,0015
89	0,007	0,00035	-	-
110	0,0022	0,00011	-	-
150	0,0004	0,00002	-	-

### Значение коэффициентов скорости и расхода для различных отверстий и насадок

Тип отверстия или насадка	$\zeta$	$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$	$\mu\varphi^2$
Круглое отверстие в тонкой стенке	0,06	0,62	0,97	0,61	0,57
Внешний цилиндрический насадок	0,50	1,00	0,81	0,81	0,53
Внутренний цилиндрический насадок	1,00	1,00	0,71	0,71	0,36
Конический сходящийся насадок $\theta = 13^\circ$	0,09	0,98	0,96	0,94	0,87
Конический расходящийся насадок $\theta = 8^\circ$	3,45	1,00	0,45	0,45	0,09
Конoidalный насадок	0,06	1,00	0,98	0,98	0,94

### Значения $p$ и $S$ насадков пожарных стволов

Диаметр насадка, мм	$S$	$p$
13	2,89	0,588
16	1,26	0,891
19	0,634	1,26
22	0,353	1,68
25	0,212	2,17
28	0,135	2,72
32	0,079	3,56
38	0,04	5,00
50	0,013	8,77
65	0,004	14,74

Значение коэффициента  $\varphi$  для диаметров насадков (для формулы  $H = \frac{S_B}{1 - \varphi S_B}$ )

$d$ , мм	$\varphi$	$d$ , мм	$\varphi$
10	0,0228	32	0,0039
13	0,0165	38	0,0028
16	0,0124	45	0,0018
19	0,0097	50	0,0014
22	0,0077	65	0,00074
25	0,0061	76	0,00049
28	0,0050	89	0,00032

#### Значения коэффициента $\beta$

$\theta'$ , град	0	15	30	45	60	75	90
$\beta$	1,40	1,30	1,20	1,12	1,07	1,03	1,00

#### Модуль упругости $E$ для стали и чугуна

Материал	Сталь	Чугун
$E \cdot 10^{-10}$ , Па	21,2	11,5

#### Значения газовой постоянной

Вещество	Химическая формула	$R$ , Дж/(кг·град)
Водяной пар	H <sub>2</sub> O	461,5
Азот	N <sub>2</sub>	296,8
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>	189,9
Окись углерода	CO	296,8
Воздух		287,0

**Таблица напоров, расходов и длин компактных струй для насадков диаметром до 25мм**

Радиус действия компактной части струи, м	Диаметры насадков, мм									
	13		16		19		22		25	
	Напор <i>H</i> , м	Расход <i>Q</i> , л/с	Напор <i>H</i> , м	Расход <i>Q</i> , л/с	Напор <i>H</i> , м	Расход <i>Q</i> , л/с	Напор <i>H</i> , м	Расход <i>Q</i> , л/с	Напор <i>H</i> , м	Расход <i>Q</i> , л/с
6	8,1	1,7	7,8	2,5	7,7	3,5	7,6	4,6	7,5	5,9
7	9,6	1,8	9,2	2,7	9,0	3,8	8,9	5,0	8,7	6,4
8	11,2	2,0	10,7	2,9	10,4	4,1	10,2	5,4	10,1	6,9
9	13,0	2,1	12,4	3,1	12,0	4,3	11,7	5,8	11,5	7,4
10	14,9	2,3	14,1	3,3	13,6	4,6	13,2	6,1	12,9	7,8
11	16,9	2,4	15,8	3,5	15,2	4,9	14,7	6,5	14,4	8,3
12	19,1	2,6	17,7	3,8	16,9	5,2	16,3	6,8	15,9	8,7
13	21,4	2,7	19,7	4,0	18,7	5,4	18,0	7,2	17,5	9,1
14	23,9	2,9	21,8	4,2	20,6	5,7	19,8	7,5	19,2	9,6
15	26,7	3,0	24,0	4,4	22,6	6,0	21,6	7,8	20,9	10,0
16	29,7	3,2	26,5	4,6	24,7	6,2	23,6	8,2	22,7	10,4
17	33,2	3,4	29,2	4,8	27,1	6,5	25,7	8,5	24,7	10,8
18	37,1	3,6	32,2	5,1	29,6	6,8	28,0	8,9	26,8	11,3
19	41,7	3,8	35,6	5,3	32,5	7,1	30,5	9,3	29,1	11,7
20	46,8	4,0	39,4	5,6	35,6	7,5	33,2	9,7	31,5	12,2
21	53,3	4,3	43,7	5,9	39,1	7,8	36,3	10,1	34,3	12,8
22	60,9	4,6	48,7	6,2	43,1	8,2	39,6	10,6	37,3	13,3
23	70,3	4,9	54,6	6,6	47,6	8,7	43,4	11,1	40,6	13,9
24	82,2	5,3	61,5	7,0	52,7	9,1	47,7	11,7	44,3	14,5
25	98,2	5,8	70,2	7,5	58,9	9,6	52,7	12,2	48,6	15,2
26	-	-	80,6	8,0	66,2	10,2	58,5	12,9	53,5	15,9
27	-	-	94,2	8,6	75,1	10,9	65,3	13,7	59,1	16,8
28	-	-	-	-	86,2	11,6	75,5	14,5	65,8	17,7

**Радиусы действия компактной части струи лафетных стволов при угле наклона  
радиуса действия компактной струи 30°**

Напор у ствола <i>H</i> , м	Радиус действия компактной части струи, м, при диаметрах насадков, мм.													
	28		32		38		50		63		76		89	
	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с	<i>R</i> <sub>к, м</sub>	<i>Q</i> , л/с
20	20,2	12,2	20,0	15,9	20,5	22,4	21,0	38,9	-	-	-	-	-	-
25	23,0	13,6	23,5	17,8	24,0	25,1	25,0	43,5	-	-	-	-	-	-
30	26,0	14,9	26,5	19,4	27,0	27,4	28,0	47,5	29,0	76,5	30,5	111,0	32,5	150,0
35	28,	16,2	28,5	21,0	29,5	29,7	31,0	51,5	32,0	82,5	34,0	119,0	36,5	163,0
40	30,0	17,2	30,5	22,5	32,0	31,7	33,0	55,0	35,0	87,3	38,0	127,0	41,0	174,0
45	31,5	18,3	32,5	23,8	34,0	33,6	35,5	58,3	38,0	92,5	41,0	135,0	45,0	184,0
50	33,0	19,3	34,0	25,1	35,5	35,4	37,5	61,4	42,0	97,5	45,0	142,0	49,0	194,0
55	34,0	20,2	36,0	26,0	37,0	37,2	39,0	64,4	44,0	102,0	49,0	149,0	53,0	203,0
60	35,5	21,1	37,0	27,0	38,0	38,2	40,5	67,3	46,0	106,0	52,0	155,0	56,0	212,0
65	36,5	22,0	37,5	28,6	39,0	40,4	41,5	70,0	49,0	111,0	55,0	162,0	60,0	221,0
70	37,0	22,8	37,5	29,7	39,5	41,9	42,5	72,6	52,0	115,0	58,0	168,0	63,0	230,
75	-	-	-	-	40,0	43,4	43,5	75,3	54,0	119,0	60,5	174,0	66,0	238,0
80	-	-	-	-	40,5	44,8	44,5	77,8	56,0	123,0	63,0	179,0	69,0	245,0
85	-	-	-	-	-	-	45,5	80,1	57,0	127,0	65,0	185,0	72,0	253,0
90	-	-	-	-	-	-	46,0	82,5	59,0	131,0	67,0	191,0	74,0	260,0
95	-	-	-	-	-	-	46,5	84,8	60,0	134,0	69,0	196,0	74,5	268,0
100	-	-	-	-	-	-	47,0	87,0	62,0	138,0	70,0	201,0	75,5	274,0

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимов Ю.Г. Гидравлика. Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 312 с.
2. Абросимов Ю.Г. Лабораторный практикум по курсу «Гидравлика» [текст]: Лаб. Раб. /Ю.Г. Абросимов, В.В. Жучков, Ю.Л. Карасёв и др. – М: АГПС МЧС России, 2010 – 72 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. –М.: Наука, 1969.
4. Френкель М.З. Гидравлика. –М.: Госэнергоиздат, 1956.
5. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалев Ф.И., Гидравлика. –М.: Энергия, 1964.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика (в четырёх книгах). –М.: Энергаториздат, 1991.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика. –Л.: Энергия, 1971.
8. Сукомел А.С., Величко В.И., Абросимов Ю.Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении газа в коротких каналах. –М.: Энергия, 1979.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. –М.: Машиностроение, 1975.
10. Альтшуль А.Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. –М.: Гостоптехиздат, 1962.
11. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлические сопротивления трубопроводов. –М.: Стройиздат, 1964.
12. Киселёв П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам. –М.: Госэнергоиздат, 1961.
13. Андриянов М.М. Гидравлические расчёты водоводов и водопроводных сетей. –М.: Госстройиздат, 1964.
14. А.А. Качалов. Гидравлические сопротивления при движении воздушно-механической пены и пенные струи. Автореф. канд. дисс.–М.: ВШ МВД СССР, 1970.
15. Клайн С. Дж. Подобие и приближённые методы. –М.: Мир, 1968.
16. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена. –М.: «ВШ», 1974.
17. Альтштуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987.
18. Смирнов Д.Н., Зубов Л.Б. Гидравлический удар в напорных водоводах. –М.: Стройиздат, 1975.
19. Рейнольдс Л.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях.– М.: Энергия, 1979.
20. Штеренлихт Д.В. Очерки истории гидравлики водных и строительных искусств. В 5-ти кн. – М. : «ГЕОС», 1999 – 2003.