

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

Кафедра сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций

Методические указания и контрольные задания

по курсу “Механика жидкости и газа”

для студентов специальности 1 – 70 04 02
“Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна”

Брест 2012

УДК 621.226

В методических указаниях дается перечень тем и вопросов предмета «Механика жидкости и газа». Изложение материала представлено в последовательности, свойственной традиционно излагаемой в различных учебниках. В начале изучаются темы равновесия как «капельной жидкости», так и «сжимаемой жидкости»- газа. В последующем рассматриваются законы движения жидкости и их приложение к ряду практических случаев (движение в трубопроводах, истечение из отверстий и насадков, обтекание твердых тел и др.).

Контрольные задания на выполнение расчетно-графических работ охватывают весь курс «Механика жидкости и газа» и позволяют на конкретных практических задачах закрепить полученные теоретические знания.

Составители: Громик Н.В. доцент
Мешик О.П. доцент, к.т.н.
Шешко Н.Н. ст. преподаватель

Рецензент: Новосельцев В.Г., доцент, к.т.н., зав. каф. ТГСВ Учреждения образования
«Брестского государственного технического университета»

Содержание

	стр.
1. Общие методические указания.....	4
1.1 Основные свойства жидкостей и газа.....	4
1.2 Гидростатика.....	6
1.3 Гидродинамика.....	9
1.3.1. Потери напора при установившемся движении жидкости.....	10
1.3.2. Установившееся движение в напорных трубопроводах.....	13
1.3.3. Истечение жидкости из отверстий и насадок.....	15
1.3.4. Гидравлический удар.....	16
1.4 Относительное движение тела.....	17
1.5 Основы гидромеханического моделирования.....	17
1.6 Равномерное движение жидкости в открытых руслах.....	17
2. Задания расчётно-графической работы по курсу «Механика жидкости и газа».....	19
3. Методические указания для решения задач.....	47
ЛИТЕРАТУРА.....	58

1. Общие методические указания

Механика жидкости и газа – наука, рассматривающая основные законы движения и равновесия жидкостей (как капельных, так и газообразных), а также их силовое взаимодействие с твердыми телами. Это одна из наук, составляющих фундамент инженерных знаний. Она необходима для решения многих технических вопросов в области санитарной техники, теплогасоснабжения и вентиляции. Расчет всевозможных трубопроводов (воздухопроводы, водопроводы, газопроводы, паропроводы и т.д.), конструирование гидравлических и воздуходувных машин (насосы, компрессоры, вентиляторы и пр.), проектирование котельных агрегатов, печных и сушильных установок, воздухо- и газоочистных аппаратов, теплообменных аппаратов, расчет многих отопительных и вентиляционных устройств требуют четкого понимания законов механики жидкости и газа.

Программа курса предусматривает изучение теоретического материала и решения практических задач.

При изучении материала по учебнику студент должен особое внимание обратить на проработку основных положений темы (раздела), используя для этой цели методические указания, основные предназначения которых – облегчить работу с книгой.

Курс целесообразно изучать последовательно по темам (разделам), руководствуясь программой и методическими указаниями. Сначала следует изучить теоретическую часть раздела, затем решить и проанализировать приведенные в учебнике и задачах примеры и задачи с решениями. Учебный материал можно считать проработанным и усвоенным только при условии, если студент умеет правильно применять теорию для решения практических задач.

1.1 Основные свойства жидкости и газа

Механика жидкости является инженерной (технической) дисциплиной, так как ее выводы направлены на решение технических задач. Это одна из наук, составляющих фундамент инженерных знаний. Она выросла из двух отраслей научного знания: эмпирической гидравлики и классической гидромеханики. Указанные дисциплины в настоящее время могут рассматриваться как разделы единой науки – механики жидкости.

История развития механики жидкости детально описана во многих учебниках, поэтому данный вопрос не рассматривается в методических указаниях.

Изучение механики жидкости и газа требует знания основных свойств жидкости. Жидкости с точки зрения механических свойств разделяются на два класса: малосжимаемые (капельные) и сжимаемые (газообразные).

С позиции физики капельная жидкость значительно отличается от газа; с позиции механики жидкости различие между ними не так велико, и часть закона, справедливая для капельных жидкостей, может быть приложена и к газам в случаях, когда сжимаемостью жидкости можно пренебречь (например, при расчете вентиляционных каналов).

Основные свойства жидкостей, существенные при рассмотрении задачи механики жидкости, это – плотность и вязкость.

Плотностью жидкости ρ называется ее масса, заключенная в единице объема:

$$\rho = \frac{M}{W}. \quad (1)$$

В практических приложениях о массе жидкости судят по ее весу. Вес жидкости, приходящийся на единицу объема, называется удельным весом:

$$\gamma = \frac{G}{W}. \quad (2)$$

Сжимаемость капельных жидкостей под действием давления характеризуется коэффициентом объемного сжатия β_w :

$$\beta_w = -\frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta p}. \quad (3)$$

Температурное расширение капельных жидкостей характеризуется коэффициентом температурного расширения β_t :

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta T}. \quad (4)$$

В отличие от капельных жидкостей газы характеризуются значительной сжимаемостью и высокими значениями коэффициента температурного расширения. Зависимость плотности газов от давления и температуры устанавливается уравнением состояния:

$$\rho = \frac{P}{RT}. \quad (5)$$

Так как объем газа в большой мере зависит от температуры и давления, выводы, полученные при изучении капельных жидкостей, можно распространять на газы в случае, если изменения давления и температуры незначительны. Практически газ можно принимать несжимаемым при скоростях движения, не превышающих 100 м/с.

Вязкость жидкостей. Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу. Все реальные жидкости обладают определенной вязкостью, которая проявляется в виде внутреннего трения при относительном перемещении смежных частиц жидкости. Наряду с легко подвижными жидкостями (например, водой) существуют очень вязкие жидкости, сопротивление которых сдвигу весьма значительно (глицерин, тяжелые масла и др.). Таким образом, вязкость характеризует степень текучести жидкости или подвижности ее частиц.

Сопротивляемость жидкости сдвигу характеризуется так называемой динамической или абсолютной вязкостью. Динамическая вязкость обозначается символом μ , измеряется в Н·с/м² или Па·с.

Наряду с понятием абсолютной или динамической вязкости в гидравлике находит применение понятие «кинематическая вязкость», представляющая собой отношение абсолютной вязкости к плотности:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (6)$$

Она измеряется в м²/с².

Необходимо при изучении свойств жидкости знать капиллярные явления, а также особые состояния: кавитация, аэрация и захват потоком твердых частиц.

Однородная жидкость, строго говоря, имеет прерывную (дискретную) структуру. Однако при решении различных гидравлических задач пренебрегают отмеченным обстоятельством и рассматривают жидкость как сплошную (непрерывную) среду – континуум.

Что касается сил, действующих на жидкость, то их можно разделить на две различные группы: внутренние силы и внешние силы.

Внутренние силы – это силы взаимодействия между материальными частицами жидкости.

Внешние силы – силы, приложенные к частицам рассматриваемого объема жидкости со стороны других вещественных тел. Они в свою очередь разделяются на две группы: силы массовые (если $\rho = \text{const}$, то их называют объемными, это собственный вес, силы инерции); силы поверхностные – атмосферное давление, силы трения, реактивная сила.

1.2 Гидростатика

В гидростатике изучается жидкость, находящаяся в покое. Основным понятием гидростатики является понятие гидростатического давления в данной точке покоящейся жидкости и обозначается буквой p , для краткости именуют просто гидростатическим давлением.

В случае покоящейся жидкости гидростатическим давлением p в данной точке называют скалярную величину, равную модулю (значению) напряжения σ в рассматриваемой точке

$$p = |\sigma|. \quad (7)$$

При изучении этого раздела необходимо знать два основных свойства.

Если на некоторую массу жидкости не действовали и не действуют внешние силы, то каждая частица этой массы или остается неподвижной относительно данной системы координат, или движется прямолинейно с одинаковой для всех частиц скоростью, так что взаимное расположение этой массы жидкости остается неизменным. Такое механическое состояние называется равновесным, или иначе – жидкость находится в состоянии покоя.

При действии на покоящуюся жидкость с той или иной внешней объемной силой дифференциальные уравнения равновесия имеют вид:

$$\begin{cases} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения (8) были получены Л. Эйлером в 1755 г. и носят названия дифференциальных уравнений покоя жидкости.

Преобразовав эти уравнения, можно получить основное уравнение гидростатики в дифференциальной форме:

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz). \quad (9)$$

В уравнениях (8) и (9) величины X , Y , Z есть проекции величины объемной силы на соответствующую ось.

При решении уравнения (9) имеем две неизвестные p и ρ , поэтому для определенности решения необходимо иметь еще одно независимое уравнение, в качестве которого используется так называемое характеристическое уравнение.

Для капельной жидкости характеристическим уравнением является уравнение:

$$\rho = \text{const}; \quad (10)$$

а для газа – уравнение Бойля-Мариотта:

$$\frac{p}{\rho} = RT. \quad (11)$$

Проинтегрировав уравнение (9) в случае действия только одной внешней силы, силы тяжести, получим уравнение:

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (12)$$

где p – гидростатическое давление на глубине h ; – внешнее давление на поверхности жидкости; p_0 – внешнее поверхностное давление.

Важным аспектом при изучении давления является знание избыточного давления, пьезометрической высоты, величины вакуума.

Сила гидростатического давления, действующая на плоскую стенку, определяется по формуле:

$$F = \gamma \cdot \omega \cdot h_{\text{цт}}, \quad (13)$$

где $h_{\text{цт}}$ – глубина погружения центра тяжести данной плоской фигуры под уровень; ω – площадь этой фигуры.

Величина этой силы может быть определена графоаналитическим способом:

$$P = S \cdot p_c, \quad (14)$$

где S – площадь эпюры давления на плоскую поверхность; p_c – давление в центре тяжести сечения.

Для прямоугольной фигуры силу гидростатического давления можно определить как аналитическим, так и графоаналитическим способами. При этом сила гидростатического давления может определяться путем построения эпюры давления на прямоугольную фигуру. Сила давления равна площади эпюры, умноженной на ширину стенки. Точка приложения силы находится в центре тяжести эпюры.

Для прямоугольной стенки эпюрой является прямоугольный треугольник, а центр тяжести находится на высоте $2/3$ от вершины треугольника. Методику определения p_c и $l_{\text{цт}}$ при графоаналитическом методе можно изучить в [2] стр. 30–32.

В случае криволинейной фигуры сила гидростатического давления определяется как геометрическая сумма двух сил P_x и P_z :

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (15)$$

где P_x – горизонтальная составляющая силы гидростатического давления;

P_z – вертикальная составляющая.

Передача давления при помощи жидкости часто находит применение в практике машиностроения. Встречаются следующие простейшие гидравлические машины: гидравлические прессы, мультипликаторы (увеличители давления), домкраты, подъемники. Во всех этих машинах используется гидравлический принцип:

$$\frac{P_1}{S_1} = \frac{P_2}{S_2} = \text{const}, \quad (16)$$

или

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot S_2}{S_1}, \quad (17)$$

Здесь P_1 и P_2 – сила гидростатического давления, действующая соответственно на площадь S_1 и S_2 .

Газы относятся к сжимаемым жидкостям, и уравнения равновесия (покоя) отличаются от таковых для капельной жидкости лишь тем, что они должны учитывать сжимасмость газов. Поэтому полученные ранее дифференциальные уравнения равновесия являются общими (8) для капельной жидкости и газов.

В свою очередь, для газов справедливы следующие уравнения:
дифференциальное уравнение равновесия

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz); \quad (18)$$

характеристическое уравнение

$$\rho = f(p, T); \quad (19)$$

и уравнение поверхности уровня

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0. \quad (20)$$

При равновесии газа гидростатическое давление в точке изменяется только с высотой расположения этой точки $p = f(z)$.

Эту зависимость находим путём совместного решения основного дифференциального уравнения гидростатики и характеристического уравнения. Как известно, последнее определяет собой связь между плотностью, давлением и температурой. Уравнение состояния газа записывается в виде

$$\frac{\rho}{p} = RT. \quad (21)$$

Изотермический процесс – процесс изменения давления и объёма газа при поддержании одной и той же температуры, т.е. этот процесс сопровождается теплообменом.

Адиабатический процесс представляет собой случай изменения давления в условиях отсутствия теплообмена.

Адиабатический процесс является частным случаем более общего политропного процесса.

Во всех случаях при изменении давления плотность газа изменяется. Однако во многих случаях на практике изменение плотности бывает столь незначительным, что без существенной погрешности можно принять $\rho = \text{const}$.

1.3 Гидродинамика

Одним из основных уравнений гидродинамики является уравнение постоянства расхода (уравнение неразрывности), которое для плавно изменяющегося и параллельно-струйного движения может быть представлено в виде:

$$v \cdot \omega = \text{const}, \quad (22)$$

(вдоль потока), откуда для двух сечений 1–1 и 2–2 получим

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (23)$$

средние скорости потока обратно пропорциональны площадям живых сечений.

Следует пояснить, что уравнение постоянства расхода справедливо только при соблюдении ряда допущений, на которых основан логический вывод этого уравнения.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера дают общую зависимость между скоростями и ускорениями движущихся частиц жидкости и силами, действующими на эти частицы. Интегрирование этих уравнений для элементарной струйки идеальной жидкости приводит к основному уравнению гидродинамики – уравнению Бернулли, которое можно получить также и непосредственно, применив к бесконечно малому объему жидкости теоремы механики, например, теорему живых сил.

Уравнение Бернулли представляет собой частный случай закона сохранения энергии. Все члены уравнения Бернулли отнесены к единице веса жидкости, поэтому все виды энергии в этом уравнении имеют линейную размерность. При рассмотрении уравнения Бернулли для простейшего случая движения элементарной струйки невязкой (идеальной) жидкости следует уяснить геометрический и физический (энергетический) смысл уравнения в целом и его отдельных членов, а также обратить внимание на условия применимости уравнения Бернулли к элементарной струйке. Уметь строить пьезометрическую и напорную линию. При распространении уравнения Бернулли для элементарной струйки на поток реальной жидкости возникает ряд трудностей, которые преодолеваются введением соответствующих ограничений и поправок. Уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений потока, в которых течение параллельно-струйное или плавно изменяющееся. Живые сечения здесь плоские, поэтому отсутствуют ускорения вдоль живых сечений, а из массовых сил действует только сила тяжести. Следовательно, в этих сечениях (участках) справедливы законы гидростатики, в частности постоянство гидростатического напора для всех точек живого сечения относительно любой плоскости сравнения. Между плавно изменяющимися течениями (участками) потока, связанными уравнением Бернулли, поток может быть и резко изменяющимся. При определении кинетической энергии потока по средней скорости в данном сечении вводится поправка в виде коэффициента Кориолиса, учитывающего неравномерность распределения скоростей по живому сечению.

При решении практических инженерных задач уравнение Бернулли и уравнение постоянства расхода используются совместно. При этом они составляют систему из двух уравнений, позволяющую решать задачи с двумя неизвестными.

Если для струйки идеальной жидкости уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения механической энергии, то для потока реальной жидкости оно является уравнением баланса энергии с учетом гидравлических потерь. Гидравлическими потерями называется работа сил трения, затраченная на перемещение единицы веса жидкости из одного сечения в другое. Энергия потока, израсходованная на работу сил трения, превращается в тепловую энергию и рассеивается в пространстве.

Уравнения, относящиеся к капельной жидкости, записываются в виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f. \quad (24)$$

Уравнение Бернулли для газов записывается в виде: при адиабатическом процессе

$$g \cdot z_1 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_f \quad (25)$$

или

$$g \cdot z_1 + \frac{k}{k-1} \cdot RT_1 + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + RT_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_f; \quad (26)$$

при изотермическом процессе

$$g \cdot z_1 + RT \ln p_1 + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + RT \ln p_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_f; \quad (27)$$

при политропном процессе

$$g \cdot z_1 + \frac{n}{n-1} \cdot RT_1 + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + \frac{n}{n-1} \cdot RT_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_f. \quad (28)$$

В данных уравнениях h_f – потери удельной энергии; R – удельная газовая постоянная; k – показатель адиабаты; n – показатель политропы.

1.3.1. Потери напора при установившемся движении жидкости

Для использования уравнения Бернулли при решении практических инженерных задач необходимо знать гидравлические потери (потери напора), имеющие место при движении жидкости. Эти потери в значительной степени зависят от того, будет ли режим движения в потоке турбулентным или ламинарным.

Наличие того или иного режима в трубопроводе обуславливается соотношением трех факторов, входящих в формулу безразмерного критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (29)$$

где ν – средняя скорость движения жидкости; d – диаметр трубопровода; ν – коэффициент кинематической вязкости.

При изучении режимов движения жидкости следует уяснить различия в структуре потоков. Нужно знать формулу критерия Рейнольдса и его критическое значение, отчетливо представлять его физический смысл.

В ламинарном потоке частицы жидкости движутся слоями с различными скоростями параллельно оси трубы без перемешивания. В таком потоке касательные напряжения подчиняются закону Ньютона. Используя общий закон распределения касательных напряжений и закон Ньютона, можно получить дифференциальное уравнение, из которого строго математически выводятся основные закономерности ламинарного движения: распределение скоростей по живому сечению трубопровода; максимальная и средняя скорости; коэффициент Кориолиса α ; закон сопротивления трения (формула Пуазейля); коэффициент гидравлического трения λ в формуле Дарси.

Теоретические результаты хорошо подтверждаются опытом для потоков, в которых отсутствует теплообмен с окружающей средой. Из формулы Пуазейля следует, что потери напора на трение по длине трубопровода пропорциональны средней скорости потока и коэффициенту кинематической вязкости жидкости.

Турбулентный поток характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости. Из-за сложности явления до сих пор не создано достаточно удовлетворительной теории турбулентного движения, которая непосредственно вытекала бы из основных уравнений гидродинамики и хорошо подтверждалась опытом (как для ламинарного движения). Поэтому все выводы и расчетные соотношения получены экспериментально и в результате теоретического исследования упрощенных моделей турбулентного течения.

Прежде всего следует уяснить механизм турбулентного перемешивания и пульсации скоростей. Далее рассмотрите структуру и физическую природу касательных напряжений, которые определяются как сумма напряжений, вызванных действием сил вязкости и обусловленных турбулентным перемешиванием. Определение последних основано на полуэмпирических теориях Прандтля и Кармана, получивших дальнейшее развитие в трудах других ученых.

Потери на трение по длине определяются по формуле Дарси, которая может быть получена из соображений размерности:

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (30)$$

Центральным вопросом темы является определение коэффициента гидравлического трения λ в формуле Дарси. В общем случае коэффициент λ является функцией числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости $\frac{k_s}{d}$:

$$\lambda = f\left(Re; \frac{k_s}{d}\right), \quad (31)$$

где k_s – эквивалентная шероховатость; d – диаметр трубопровода.

Наиболее полно зависимость (31) раскрывается графиком Никурадзе, который получен экспериментально на трубах с искусственной зернистой равномерной шероховатостью. На графике можно выделить пять зон, каждая из которых характеризуется определенной внутренней структурой потока и в соответствии с этим определенной зависимостью λ от Re и $\frac{k_s}{d}$.

1. Зона изменения Re от 0 до 2320. Ламинарный режим потока. Здесь $\lambda = f(Re)$ и коэффициент гидравлического трения определится по формуле Пуазейля:

$$\lambda = 64 Re. \quad (32)$$

2. Зона изменения Re от 2320 до 4000. Неустойчивая зона перемежающейся турбулентности, когда на отдельных участках возникают области турбулентного режима, которые разрастаются, а затем исчезают и снова появляются. Изменение структуры потока сопровождается колебаниями величины λ . Зона не рекомендуется для применения в гидравлических системах.

3. Зона чисел Re от 4000 до $10 \frac{k_2}{d}$. Поток характеризуется турбулентным ядром и пристенным (пограничным) ламинарным слоем, который затапливает шероховатости внутренней поверхности трубы, ввиду чего коэффициент λ не зависит от $\frac{k_2}{d}$ и зависит только от Re . Здесь трубы работают как "гидравлически гладкие". Для этой зоны коэффициент гидравлического трения определится по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (33)$$

4. Зона, в которой $\lambda = f(Re; \frac{k_2}{d})$. Пределы зоны определяются соотношением $10 \frac{k_2}{d} < Re < 500 \frac{k_2}{d}$. Переходная зона к "гидравлически шероховатым" трубам. Пристенный ламинарный слой равен (или меньше) высоте выступов шероховатости.

5. Зона больших чисел $Re > 500 \frac{k_2}{d}$ и, следовательно, интенсивной турбулентности. Трубы "гидравлически шероховатые". Коэффициент λ не зависит от Re и является функцией только $\frac{k_2}{d}$.

Как показали более поздние исследования, результаты экспериментов Никуралде для "гидравлически шероховатых" труб нельзя перенести на трубы с естественной шероховатостью. Оказалось, что в четвертой и пятой зонах общий характер зависимости (30) сохраняется, но вид кривых на графике для различных типов шероховатостей получается различным, т. е. на λ влияет не только величина $\frac{k_2}{d}$, но и характер шероховатости стенок труб. Для реальных технических труб с естественной шероховатостью для определения λ в четвертой зоне может быть рекомендована формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_2}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (34)$$

а для пятой зоны — формула Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_2}{d} \right)^{0,125}. \quad (35)$$

Здесь k_s – эквивалентная абсолютная шероховатость, т.е. такая равномерная зернистая шероховатость Никурадзе, которая при расчетах дает такой же коэффициент λ , как и естественная шероховатость.

Отметим, что при малых $Re < 10 \frac{k_s}{d}$ формула (33) переходит в формулу (32)

для гидравлически гладких труб, а при больших $Re > 500 \frac{k_s}{d}$ обращается в формулу (34) для вполне "гидравлически шероховатых" труб.

Вместо расчетных формул (33), (34) и (35) для определения λ можно пользоваться графиком Г.А. Мурина.

Местные сопротивления представляют собой короткие участки трубопроводов, на которых происходят изменения величины и направления скоростей потока, вызванные изменением размеров и формы сечения трубопровода, а также направления его продольной оси. Потери энергии в местных сопротивлениях, отнесенные к единице веса протекающей жидкости, называются местными потерями напора. Потери в местных сопротивлениях делятся на потери трения и вихревые потери. Следует рассмотреть, как эти факторы проявляются в конкретных местных сопротивлениях.

В общем случае коэффициент местного сопротивления ζ , (в формуле для определения потерь в местных сопротивлениях) зависит от формы местного сопротивления, относительной шероховатости стенок, распределения скоростей в граничных сечениях потока перед местным сопротивлением и после него и от чисел Рейнольдса. Следует уяснить, как эта общая зависимость конкретизируется для различных зон турбулентного течения и при ламинарном течении. Отметим, что в технических установках в большинстве случаев имеет место турбулентный режим, соответствующий пятой зоне квадратичного сопротивления, где коэффициент ζ не зависит от Re и где проявляется автомодальность. Если в трубопроводе до и после местного сопротивления имеет место ламинарный режим (жидкости с повышенной кинематической вязкостью), то в местных сопротивлениях, как правило, возникает турбулентное течение.

Весьма существен вопрос о взаимном влиянии местных сопротивлений. Простое суммирование потерь в местных сопротивлениях (так называемый принцип наложения потерь) дает правильные результаты, если сопротивления расположены друг от друга на расстоянии, превышающем длину взаимного влияния, составляющую $(30...40)d$.

1.3.2. Установившееся движение в напорных трубопроводах

При расчете трубопроводов следует различать два случая:

1-й случай, когда местные потери напора $\sum h_j$ отсутствуют или ими можно пренебречь:

$$\sum h_j < 0,05 \cdot h_t. \quad (36)$$

В этом случае практически имеем потери по длине h_t , и они определяются по формуле:

$$h_t = \frac{Q^2}{K^2} L. \quad (37)$$

2-й случай, когда имеются местные потери напора $\sum h_j$, причем ими нельзя пренебречь по сравнению с потерями по длине h_f .

Потери по длине h_f удобнее определять по формуле Вейсбаха-Дарси для трубопровода:

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (38)$$

Что касается местных потерь напора $\sum h_j$, то каждая такая гидравлическая потеря h_j определяется по зависимости Вейсбаха:

$$h_j = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (39)$$

Необходимо знать расчет коротких и длинных трубопроводов, как простых, так и сложных.

При рассмотрении простых коротких трубопроводов возможны случаи истечения жидкости в атмосферу и под уровень. При истечении в атмосферу используется уравнение Бернулли, которое записывается в виде:

$$H = h_f + \frac{v^2}{2g}; \quad (40)$$

а при истечении под уровень

$$z = h_f. \quad (41)$$

Расчет простых длинных трубопроводов нужно вести в зависимости от их соединения, т.е. при последовательном или параллельном соединении.

В случае переменного расхода по длине трубы его величину необходимо определять по формуле:

$$Q_{\text{расч}} = Q_f + 0,55 \cdot q \cdot l. \quad (42)$$

Сложные трубопроводы могут быть незамкнутыми, иначе тупиковыми и замкнутыми, иначе кольцевыми.

Расчет тупиковой сети основан на выборе и расчете магистрали, а затем ответвлений. Для кольцевой сети необходимо знать основы расчета.

Расчет газопроводов под углом зрения гидравлических расчетов следует различать два случая: движение при малых относительных перепадах давления между начальным и конечным сечениями $\frac{\Delta p}{p}$; при больших относительных перепадах $\frac{\Delta p}{p} > 8\%$.

В первом случае возможно пренебречь сжимаемостью газа, т.е. считать плотность газа неизменной по всей длине трубопровода; тогда расчет принципиально не отличается от расчетов для несжимаемых жидкостей.

Формулы для определения потерь на трение и местных потерь в этом случае принимают вид:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \rho \frac{v^2}{2}; \quad (43)$$

$$\Delta p_{\text{м}} = \zeta \cdot \rho \frac{v^2}{2}. \quad (44)$$

В длинных трубопроводах потери давления на местные сопротивления невелики по сравнению с потерями давления на трение, и здесь можно полагать:

$$\Delta p_{\text{пот}} = \Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \rho \frac{v^2}{2}. \quad (45)$$

Эту формулу можно переписать с учетом коэффициента λ , определенно-го по формуле Альтшуля:

$$\Delta p_{\text{пот}} = 7 \left(\frac{k_2}{d} + 1922 \frac{d \cdot v}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{d^2} \gamma l. \quad (46)$$

Во втором случае расчета трубопроводов для газов при больших перепадах давления нельзя полагать плотность газа постоянной по длине трубопровода. В этом случае потери давления нужно определять по формуле:

$$p_1 - p_2 = \frac{2}{2 - \frac{\Delta p}{\rho_1}} \lambda \frac{l}{d} \cdot \rho_1 \frac{v^2}{2} \quad (47)$$

или с учетом λ

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = 1.45 \left(\frac{k_2}{d} + 1922 \frac{dv}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^{0,25}}{d^2} \cdot \gamma. \quad (48)$$

1.3.3. Истечение жидкости из отверстий и насадок

Отверстие называется малым, если можно пренебречь изменением давления по его площади. Насадками называются небольшие по длине трубы $l = (3 \dots 6)d$, присоединенные к таким отверстиям. Прежде всего следует уяснить характер и особенности движения жидкости в процессе истечения (сжатые струи, образование вакуума).

В гидравлике истечения через отверстия и насадки есть много общего. Скорость истечения и вытекающий расход рассчитываются по общим формулам, выведенным на основе уравнения Бернулли, причем потери при истечении определяются как местные потери. Общими являются также гидравлические характеристики (коэффициенты расхода, скорости, сжатия, сопротивления).

Следует знать физический смысл коэффициентов сжатия, скорости и расхода, зависимость их числовых значений от типа и формы отверстий и насадков и от критерия Рейнольдса. Нужно также обратить внимание на то, что при

$Re > 10^5$ влияние сил вязкостного трения на коэффициенты истечения практически отсутствует (квадратическая зона сопротивления). При этом коэффициенты истечения зависят только от формы отверстий и насадков. Это позволяет с успехом использовать отверстия с острой кромкой и с насадками в качестве измерителей расхода.

При истечении при переменном напоре (опорожнение сосудов) расчетными являются формулы для определения времени опорожнения.

Основной расчётной формулой истечения является:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0}. \quad (49)$$

Процесс истечения газа с термодинамической точки зрения можно считать адиабатическим, так как на весьма коротком пути от резервуара до выходного сечения влиянием теплообмена между выходящим газом и внешним пространством можно пренебречь.

Скорость течения газа из отверстия без учёта потерь при адиабатическом процессе можно определить по формуле Сен-Венана:

$$v_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (50)$$

Если произвести некоторые преобразования, и считая, что $v_2 \ll C$ (здесь C скорость распространения звука в покоящемся газе), эта формула примет вид:

$$v_2 = \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho_1}}, \quad (51)$$

т.е. аналогичная формуле для капельной жидкости.

1.3.4. Гидравлический удар

Гидравлический удар чаще всего возникает в случае быстрого закрытия или открытия затвора, управляющего потоком в трубопроводе. Различают прямой удар, когда время закрытия затвора меньше фазы гидравлического удара (время пробега ударной волны от затвора к резервуару и обратно), и непрямой удар, при котором время закрытия затвора больше фазы гидравлического удара.

Формула Н.Е. Жуковского

$$p = \rho \cdot C \cdot v. \quad (52)$$

дает зависимость величины ударного повышения давления p от плотности жидкости ρ , скорости распространения ударной волны C , уменьшения скорости в трубе перед краном вследствие его закрытия v . Формула применима для расчета прямого и непрямого удара и учитывает как сжатие жидкости, так и растяжение стенок трубы при ударном повышении давления.

После уяснения физической сущности гидравлического удара и методов его расчета следует рассмотреть меры борьбы с ним.

Гидравлическим ударом называется повышение или понижение давления в напорном трубопроводе, вызванное изменением во времени (в некотором сечении трубопровода) скорости движения жидкости. Явление гидравлического удара было теоретически и экспериментально изучено в конце XIX века Н.Е. Жуковским в связи с многочисленными авариями московского водопровода.

1.4 Относительное движение тела

Движение твердых тел в жидкости (обтекание жидкостью твердых тел) представляет одну из важнейших проблем гидромеханики. Основной задачей при этом является определение сил, которые возникают при относительном движении тела и жидкости. Тело, движущееся в жидкости, встречает со стороны последней сопротивление, для преодоления которого нужно приложить некоторую силу. Таким будет, например, сопротивление, которое встречает при своем движении самолет, автомобиль или поезд со стороны воздуха, корабль или подводная лодка со стороны воды. В случае, когда тело неподвижно, а жидкость обтекает его, наоборот, тело оказывает сопротивление движению жидкости, на преодоление которого затрачивается часть энергии потока обтекающей жидкости. Примером этого является давление ветра на здание, обтекание мостового быка водой и т. п.

Полное сопротивление тела F определяется как сумма силы сопротивления давления $F_{\text{давл}}$ и силы трения $F_{\text{тр}}$:

$$F = F_{\text{тр}} + F_{\text{давл}}. \quad (53)$$

1.5 Основы гидромеханического моделирования

Различают два вида моделирования: 1 – физическое моделирование; 2 – математическое моделирование.

Мы будем рассматривать только физическое моделирование, т.е. в этом случае на модели воспроизводится изучаемое явление с сохранением его физических свойств.

Основой такого моделирования, относящегося к механике жидкости и газа, является "теория подобия".

При физическом моделировании гидравлических явлений удобно различать геометрическое, кинематическое, динамическое подобия. Эти подобия необходимо изучить и уметь применять при исследованиях на практике.

1.6 Равномерное движение жидкости в открытых руслах

В случае равномерного безнапорного движения жидкости пьезометрическая линия совпадает с поверхностью, т.е. соблюдаются следующие условия:

$$i = i_n = J, \quad (54)$$

где i – уклон дна русла; i_n – уклон свободной поверхности; J – гидравлический уклон.

Это условие соблюдается при постоянных: расходе Q , площади живого сечения ω , шероховатости n , смоченной поверхности русла по длине, а также при отсутствии местных сопротивлений.

Расчет каналов производится по формуле Шези:

$$Q = C \cdot \omega \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (55)$$

где C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус.

При гидравлическом расчете каналов необходимо определять коэффициент Шези C . Для его определения существует ряд формул. Наиболее часто используемые – это формула Н.Н. Павловского и И.И. Агроскина. Кроме того, при расчете каналов используются зависимости:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}; \quad (56)$$

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot R}; \quad (57)$$

$$h_l = i \cdot l = \frac{v^2}{C^2 \cdot R} l. \quad (58)$$

Наиболее часто встречающиеся поперечные сечения – это трапециидальное, прямоугольное, треугольное и параболическое. Гидравлические элементы этих сечений: площадь живого сечения ω , смоченный периметр χ , гидравлический радиус R , ширина канала (трапециидального) по дну b , коэффициент заложения откоса (трапециидальный) m . Необходимо знать эти элементы и уметь определять их величины по соответствующим формулам.

Поперечный профиль живого сечения, имеющий наибольший гидравлический радиус и пропускающий расход при наименьшем сечении, называется гидравлически наивыгоднейшим профилем. Для трапециидальных каналов

$$R_{\text{гн}} = \frac{\omega_{\text{гн}}}{\chi_{\text{гн}}} = \frac{h_{\text{гн}}}{2}. \quad (59)$$

Из сказанного можно сделать следующий вывод: что среди ряда рассматриваемых вариантов поперечных сечений имеется такой промежуточный, для которого средняя скорость v оказывается максимальной:

$$v = v_{\text{max}}, \quad (60)$$

а следовательно, площадь живого сечения ω , равная $\frac{Q}{v}$ – минимальной,

$$\omega = \omega_{\text{min}}. \quad (61)$$

В разделе «Гидравлически наивыгоднейшее сечение» необходимо уяснить понятие относительной ширины по дну $\beta_{\text{гн}}$:

$$\beta_{\text{гн}} = \frac{b_{\text{гн}}}{h_{\text{гн}}}. \quad (62)$$

2. Задания расчётно-графической работы по курсу «Механика жидкости и газа»

Каждый студент решает по 5 задач в каждом семестре. В четвёртом семестре – первых пять задач (в таблице до двойной линии), в пятом – последующих пять задач (табл. 1).

Номер задачи определяется по последней цифре зачётной книжки.

Таблица 1 – Номера задач для выполнения расчётно-графических работ

Последняя цифра зачётной книжки	Номер задач									
	1	1	6	11	16	21	26	31	36	41
2	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47
3	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48
4	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49
5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	1	10	14	18	25	29	33	37	42	46
7	2	9	13	17	24	28	32	36	43	47
8	2	8	12	16	23	27	31	40	44	48
9	4	7	15	20	22	30	35	39	45	50
0	5	6	11	19	21	26	34	38	41	49

Решение задач производится по вариантам, которые представлены в каждой задаче, и выполняется по предпоследней цифре номера зачётной книжки.

Расчётно-графическое задание выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 согласно стандарту БрГТУ.

При оформлении задач необходимо привести номер задачи, условие и исходные данные к задаче. Решение задачи необходимо начинать с представления расчётной схемы, а сам расчёт должен сопровождаться пояснением со ссылкой на используемую справочную литературу.

Задача № 1

Определить давление газа в баллоне по показанию h двухжидкостного чашечного микроманометра, заполненного жидкостями, имеющими плотность ρ_1 , и ρ_2 , если задано d и D .

Таблица 2 – Расчетная схема к задаче № 1

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	0,3	0,4
$d, мм$	5	6	7	8	9	10	1	4	5	6
$\rho_2, кг / м^3$	1000	1000	1000	900	900	900	1260	1260	1260	1260
$\rho_1, кг / м^3$	790	680	700	740	870	790	1030	1000	960	740
$h, м$	0,20	0,30	0,4	0,3	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4

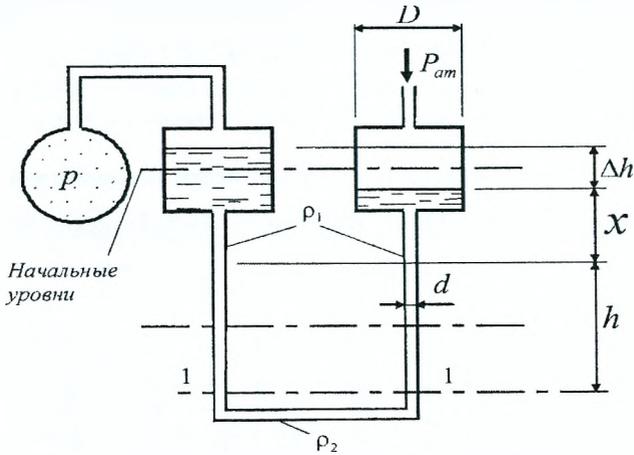


Рисунок 1 – Расчетная схема к задаче № 1

Задача № 2

Заполненный атмосферным воздухом тонкостенный колокол диаметром D и высотой H опускается в воду под действием собственного веса. Считая закон сжатия воздуха под колоколом изотермическим, найти глубину погружения колокола h .

Таблица 3 – Исходные данные к задаче № 2

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5
$H, м$	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0
$G, Н$	10,0	15,0	20,0	30,0	50,0	50,0	40,0	60,0	65,0	70,0

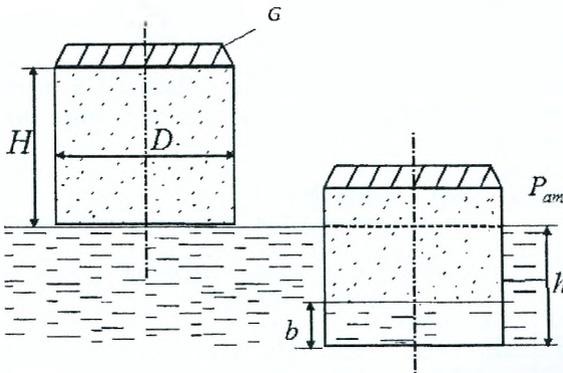


Рисунок 2 – Расчетная схема к задаче № 2

Задача № 3

Каково показание x ртутного барометра, помещённого в водолазном колоколе, если поверхность воды в колоколе на h ниже уровня моря, а показания барометра на поверхности моря $p_{ат}$? Как установится ртуть в трубке манометра с «постоянным» нулём, если манометр присоединить к крану А колокола? Как она установится, если манометр присоединить к крану В? Считать, что при измерениях соединительная трубка, ведущая к чашке прибора, заполнена водой.

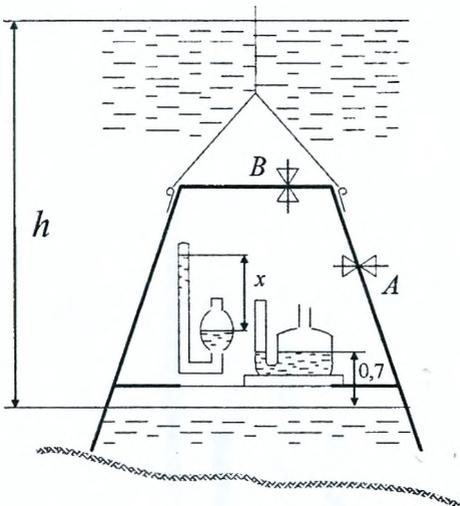


Рисунок 3 – Расчетная схема к задаче № 3

Таблица 4 – Исходные данные к задаче № 3

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h, м$	10	11	12	12,5	13	13,5	14	10	12	11
$\rho, кг/м^3$	1000	998	999	1020	1030	1000	1020	998	1000	1020
$p_{ат}, мм рт. ст.$	740	750	755	760	740	760	770	755	730	735

Задача № 4

Найти давление p в резервуаре В, если избыточное давление на поверхности воды в резервуаре А равно $p_{атм}$ разности уровней ртути в двухколенном дифференциальном манометре h_1 и h_2 , а линия ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на h . Пространство между уровнями ртути в манометре заполнено спиртом.

Таблица 5 – Исходные данные к задаче № 4

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{атм}, кПа$	25	30	40	50	60	65	70	25	35	45
$h_2, мм$	200	215	230	240	250	250	230	210	220	235
$h_1, мм$	250	275	290	300	315	300	315	260	270	280
$h, м$	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8

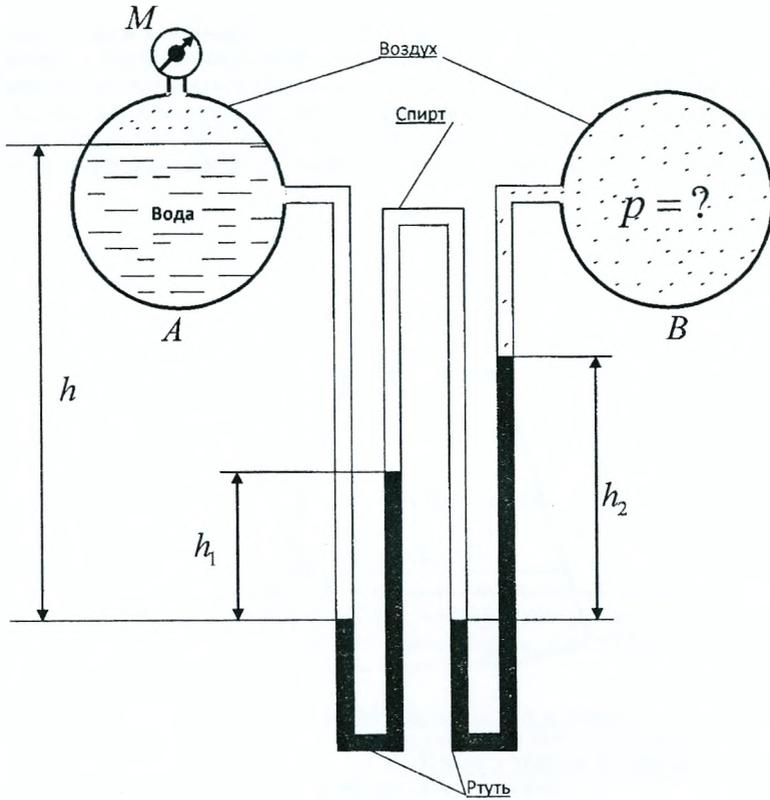


Рисунок 4 – Расчетная схема к задаче № 4

Задача № 5

На какой высоте h установится вода в трубке, первоначально заполненной водой, а потом опрокинутой и погруженной открытым концом под уровень воды, если атмосферное давление P_a и температура воды $t = 4^\circ\text{C}$? Как изменится высота h , если температура повысится до 20°C , до 80°C ? Давление насыщенных паров при $t = 4^\circ\text{C}$, $P_{н.п.} = 618\text{Па}$, при $t = 20^\circ\text{C}$, $P_{н.п.} = 2310\text{Па}$, при $t = 80^\circ\text{C}$, $P_{н.п.} = 47400\text{Па}$.

Таблица 6 – Исходные данные к задаче № 5

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{\text{атм.}}$ мн. рт. ст.	735,6	740	745	750	755	760	765	77	730	752

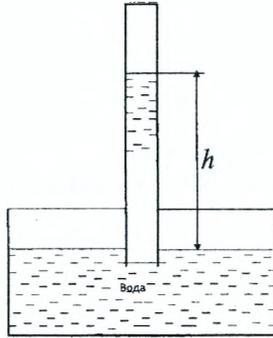


Рисунок 5 – Расчетная схема к задаче № 5

Задача № 6

Тонкостенный газгольдер, имеющий диаметр D и вес G , наполнен светильным газом. Пренебрегая трением, определить вес грузов Q , необходимый для поддержания в газгольдере давления P_u , и образующуюся при этом разность h уровней воды в резервуаре и газгольдере. Какова предельная величина давления для данного газгольдера?

Таблица 7 – Исходные данные к задаче № 6

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	12,0	12,8	13,2	13,6	14,0
$G, кН$	450	500	550	600	625	400	460	470	490	500
$P_u, кПа$	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,0	2,1	2,3	3,0	2,2

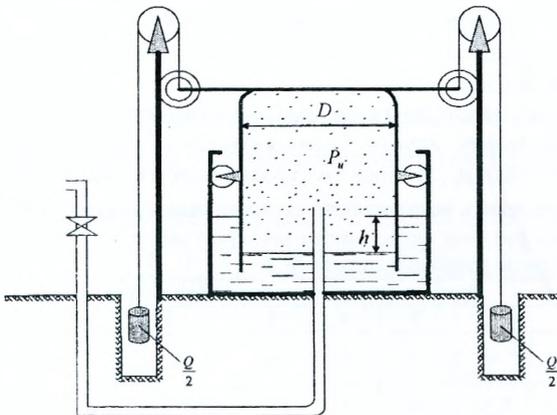


Рисунок 6 – Расчетная схема к задаче № 6

Задача № 7

Определить тягу Δp (разность давлений) в точке котла и перед топочной дверкой D , если высота котла и дымовой трубы h . Дымовые газы имеют температуру t_2 , °C. Температура наружного воздуха t_1 , °C.

Таблица 8 – Исходные данные к задаче № 7

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h, \text{ м}$	15	17	19	20	21	23	15	16	25	18
$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	250	260	270	280	290	300	310	320	300	300
$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	16	17	19	20	20	21	22	22	18	19

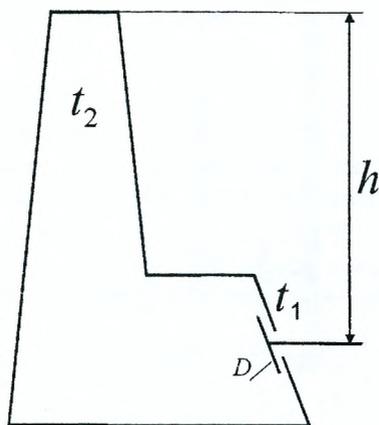


Рисунок 7 – Расчетная схема к задаче № 7

Задача № 8

Газовый стояк заполнен газом, расположен внутри 12-этажного здания для распределения газа по этажам. Стояк является частью газопровода природного газа с плотностью ρ_2 . В стояке на уровне первого этажа манометрическое давление p_m . Определить возможность подъема газа по данному стояку.

Таблица 9 – Исходные данные к задаче № 8

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Кол-во этажей	5	4	6	10	5	9	12	5	9	11
$\rho_2, \text{ кг / м}^3$	0,70	0,75	0,80	0,70	0,85	0,80	0,70	0,80	0,75	0,80
$p_m, \text{ кПа}$	10	15	18	20	15	10	15	25	20	10

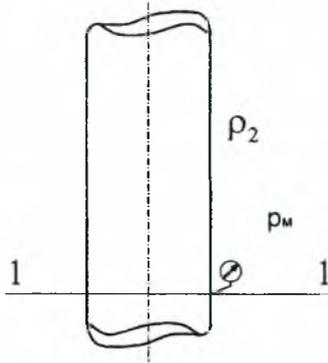


Рисунок 8 – Расчетная схема к задаче № 8

Задача № 9

Определить давление p на высоте H над уровнем моря, если давление на уровне моря p_0 , а температура t . Задачу решить для случая, когда $p = \text{const}$ и при изотермическом процессе. Какова разность изменения давления?

Таблица 10 – Исходные данные к задаче № 9

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, м$	500	600	800	550	650	700	750	900	1000	950
$p_0, кПа$	98,1	100	110	105	102	103	98,1	101	101	110
$t, °C$	22	24	25	26	27	29	23	24	22	27

Задача № 10

Определить разность давления внутреннего и наружного воздуха на высоте точек А и В для замкнутой камеры, имеющей небольшое отверстие в стене. Температура воздуха внутри камеры t , а снаружи t_0 ; высота h_1 и h_2 . Давление наружного воздуха для уровня отверстия p_0 . Считая, что воздух внутри и снаружи находится в равновесии. Плотность наружного воздуха $\rho_0 = 1,175 \text{ кг / м}^3$.

Таблица 11 – Исходные данные к задаче № 10

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t, °C$	22	24	25	26	28	23	21	27	24	22
$t_0, °C$	0	2	4	6	2	3	0	2	4	1
$p_0, кПа$	98	98,1	100	98,1	101	102	103	101	103	102
$h_1, м$	10	12	14	10	15	10	11	12	15	10
$h_2, м$	2	3	5	3	7	2	4	5	6	3

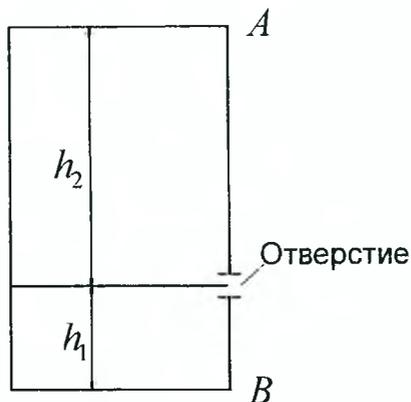


Рисунок 9 – Расчетная схема к задаче № 10

Задача № 11

Определить силу давления и её точку приложения на затвор, перекрывающий отверстие донного водовыпуска, в двух случаях: затвор прямоугольный; затвор треугольный, вершиной вверх.

Ширина затвора b , глубина погружения его верхней кромки λ и нижней h . Угол наклона затвора α . За затвором воды нет.

Таблица 12 – Исходные данные к задаче № 11

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$b, м$	1,0	3,0	2,5	3,0	4,5	6,0	3,2	8,4	5,0	2,5
$l, м$	0,8	0,9	0,1	1,2	0,7	0,8	0,9	1,4	1,1	0,8
$h, м$	2,0	4,0	5,0	4,5	6,2	10,0	7,5	10,2	9,5	5,5
$\alpha, град$	60	45	60	45	60	45	35	45	60	45

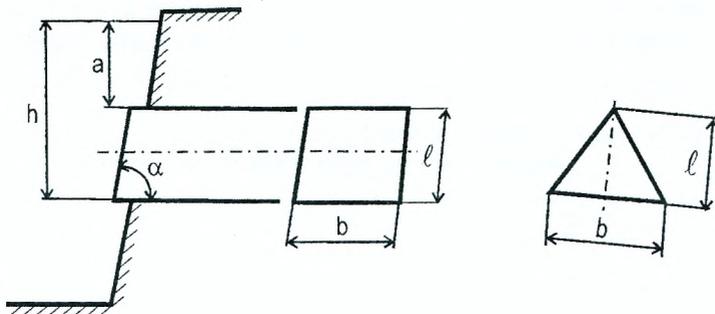


Рисунок 10 – Расчетные схемы к задаче № 11

Задача № 12

Стальной трубопровод диаметром d должен выдержать гидростатическое давление p . Допустимое напряжение σ . Определить минимальную толщину стенок трубопровода δ с учетом запаса на коррозию.

Таблица 13 – Исходные данные к задаче № 12

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	0,8	0,6	0,7	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,7
σ , кгс/см ²	1400	1200	1300	900	1500	1350	1460	1680	850	1350
p , кгс/см ²	25,0	20,0	22,0	15,0	30,0	28,0	30,0	35,0	25,0	30,0

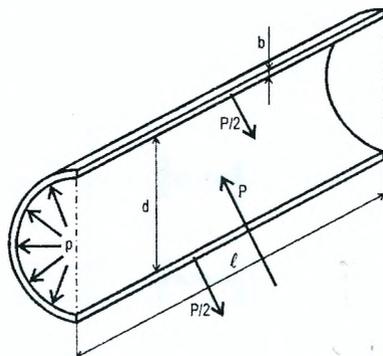


Рисунок 11 – Расчетная схема к задаче № 12

Задача № 13

Определить аналитическим и графоаналитическим способами положение центра давления и величину силы давления воды на прямоугольную вертикальную стенку шириной b , если глубина воды перед стенкой h_1 , а за стенкой h_2 .

Таблица 14 – Исходные данные к задаче № 13

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
b , м	2,0	4,0	5,0	7,0	3,0	5,0	8,0	3,0	4,0	10,0
h_1 , м	3,0	6,0	8,0	9,0	7,0	9,0	11,0	6,0	9,0	12,0
h_2 , м	6,5	1,0	2,0	2,5	1,5	3,0	3,5	1,6	3,5	4,0

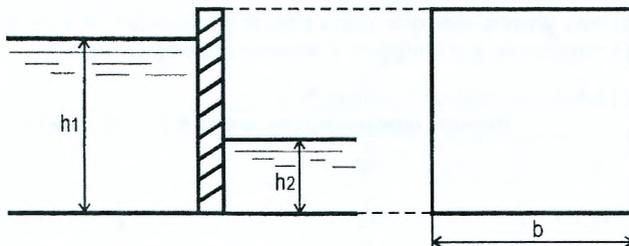


Рисунок 12 – Расчетная схема к задаче № 13

Задача № 14

Сила давления воды через обшивку прямоугольного щита высотой H и шириной b и передается на четыре горизонтальные балки. На каких расстояниях x от свободной поверхности следует их расположить, чтобы они были нагружены одинаково? Найти силу давления воды P на весь щит и максимальный изгибающий момент M на балках, считая их свободно опертыми на концах.

Таблица 15 – Исходные данные к задаче № 14

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	4	5	4,5	8	7	6	7	5,5	9	8,5
b , м	5	7	6,5	6	7	4	5	6	6	5

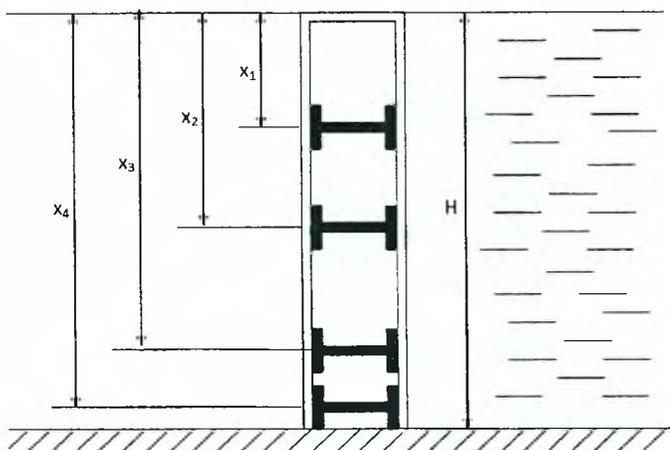


Рисунок 13 – Расчетная схема к задаче № 14

Задача № 15

Щитовой затвор должен автоматически опрокидываться для пропуска воды при уровне последней h_1 . Щит поворачивается на цапфах O диаметром $d=0,4$ м, имеющих коэффициент трения скольжения f . Ширина щита b , его угол наклона α . Найти, на каком расстоянии x должна быть расположена ось поворота щита, если под щитом имеется постоянный уровень воды h_2 , и определить силу P , воспринимаемую его опорам и в момент опрокидывания.

Таблица 16 – Исходные данные к задаче № 15

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_1 , м	76	77	76,5	78	9	10	7,5	11	8,5	10,5
h_2 , м	3	3,5	3,2	4	4,5	5	3,7	5,5	4,2	5
f	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
b , м	8	8	7	8	8	8	7	7	8	8
α , °	60	45	45	30	60	60	45	30	60	45

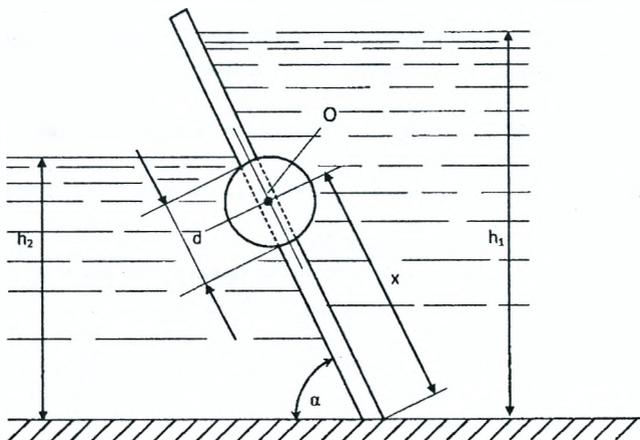


Рисунок 14 – Расчетная схема к задаче № 15

Задача № 16

Определить силу суммарного давления на секторный затвор и ее точку приложения. Глубина воды перед затвором h , длина затвора L , угол затвора α .

Таблица 17 – Исходные данные к задаче № 16

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	4	6	5	6	7	8	5	4	5	4
L , м	5	6	6	8	7	8	5	7	8	6
α , град	45	30	60	45	60	30	30	60	45	45

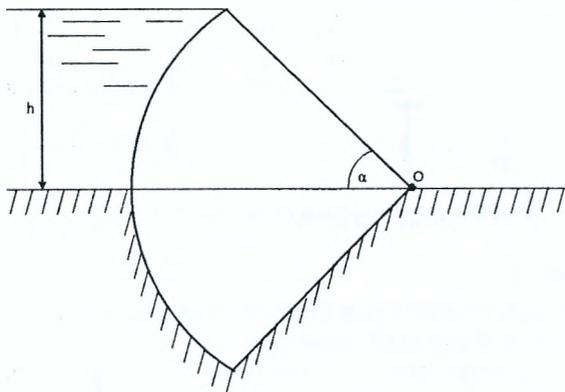


Рисунок 15 – Расчетная схема к задаче № 16

Задача № 17

В прямоугольном окне вертикальной стенки резервуара установлен на цапфах цилиндрический затвор диаметром D и длиной b .

Определить:

- 1) усилие на цапфах и момент от воздействия воды на затвор в изображенном на эскизе положении при h ;
- 2) какими будут усилия на цапфах и момент, если повернуть затвор на 180° .

Таблица 18 – Исходные данные к задаче № 17

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, \text{ м}$	0,8	1,0	1,5	1,2	1,4	1,3	1,5	0,9	1,0	1,1
$b, \text{ м}$	3	4	5	4	4	3	5,0	4	3	4
$h, \text{ м}$	1	2,0	2,5	2,6	2,1	2,2	1,5	1,55	1,5	2,0

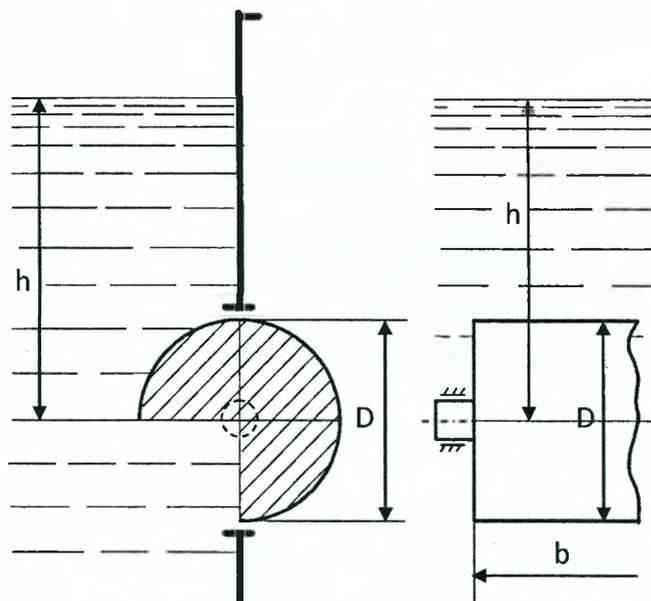


Рисунок 16 – Расчетная схема к задаче № 17

Задача № 18

Смотровой люк, устроенный в боковой стенке бензорезервуара, перекрывается полусферической крышкой диаметром d .

Определить открывающее P_x идвигающее P_z усилия, воспринимаемые болтами, если уровень бензина над центром отверстия H , а манометрическое давление паров бензина равно p_0 . Удельный вес бензина $\gamma=6867 \text{ Н/м}^3$.

Таблица 19 – Исходные данные к задаче № 18

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
d , м	0,6	0,75	0,8	0,9	0,6	0,7	0,5	0,8	0,45	0,5	
H , м	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0	3,0	5,0	4,0	3,0	
p_0 , кПа	4,8	5,0	5,5	6,0	5,0	5,6	4,0	2,0	4,5	4,6	

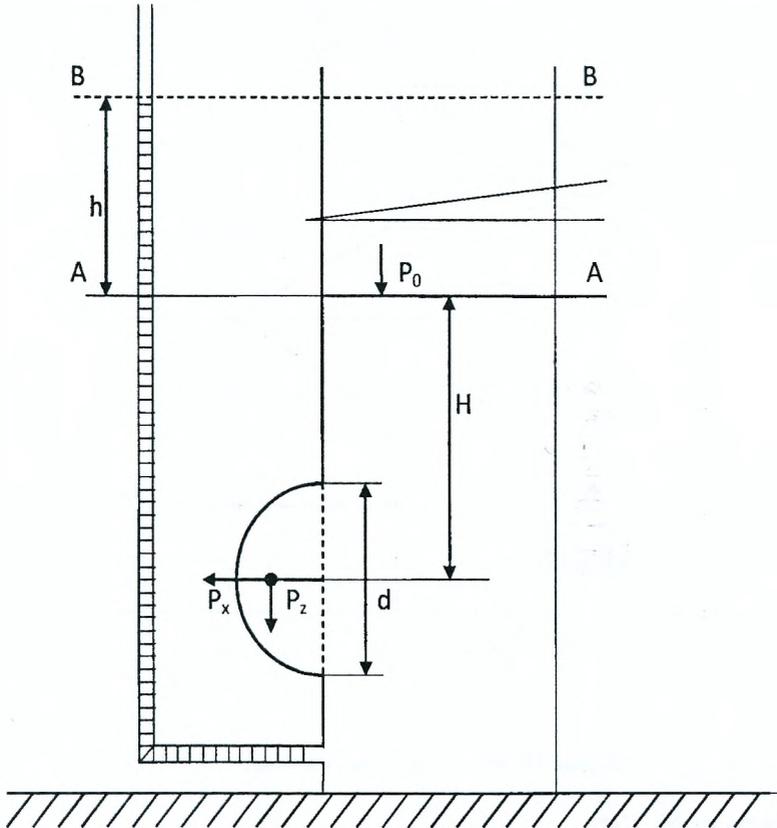


Рисунок 17 – Расчетная схема к задаче № 18

Задача № 19

Показания манометра, присоединенного к днищу бака, равно p_M . Найти давление воздуха, находящегося под водой, если h_1 и h_2 .

Определить растягивающее и срезающее усилия болтов, крепящих к вертикальной стенке бака коническую крышку с размером d и e ; весом крышки пренебречь.

Таблица 20 – Исходные данные к задаче № 19

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_M , кПа	10	20	25	30	35	40	45	50	10	20
h_1 , м	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
h_2 , м	1,0	1,2	1,3	1,4	1,4	1,0	1,2	1,4	1,4	1,6
d , м	0,8	1,0	1,1	1,0	0,8	0,7	0,8	1,0	1,2	1,0
l , м	0,6	0,8	0,85	0,8	0,6	0,55	0,6	0,8	1,0	0,8

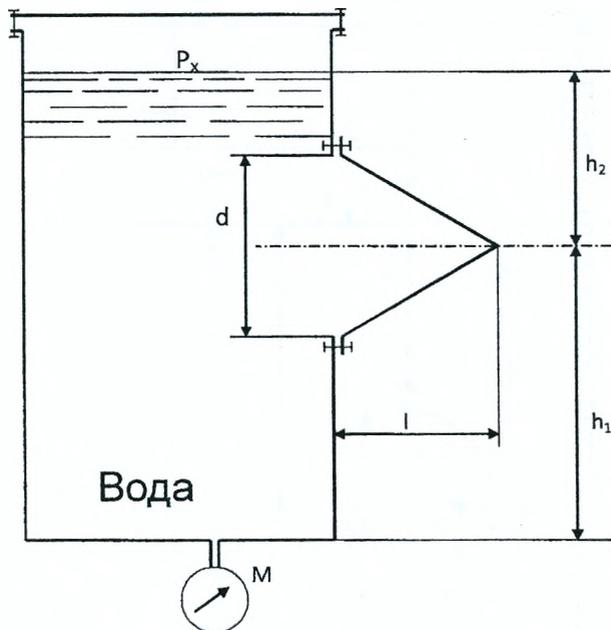


Рисунок 18 – Расчетная схема к задаче № 19

Задача № 20

Определить усилия, нагружающие болтовые группы А и В сборного конического резервуара, содержащего воду с глубиной h , наибольший внутренний диаметр сосуда D , а показания манометра p_M .

Таблица 21 – Исходные данные к задаче № 20

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_1 , м	1	2	3	4	1,5	2,5	3,5	4,5	5	5,5
D , м	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
p_M , кПа	40	50	30	35	45	55	60	40	25	30

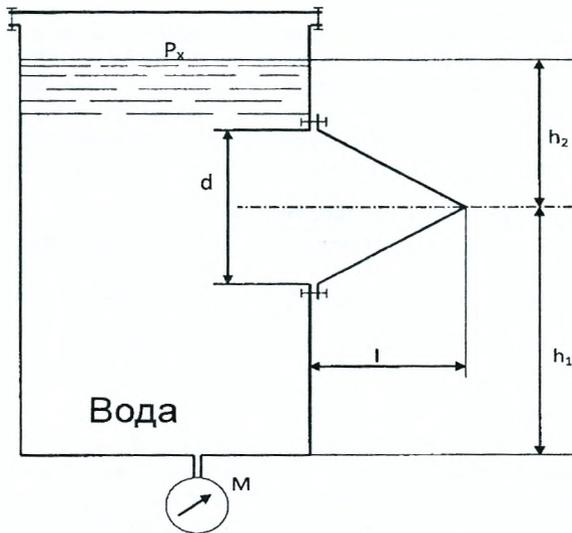


Рисунок 19 – Расчетная схема к задаче № 20

Задача № 21

По трубопроводу, имеющему сужение, протекает идеальная жидкость расходом Q . Показания пьезометров h_1 и h_2 , диаметр суженной части d_2 . Определить диаметр d_1 трубопровода, построить пьезометрическую и напорную линии для участка трубопровода между пьезометрами. Как изменяется диаметр трубы, если жидкость будет реальной, а потери напора между сечениями составят h_f ?

Таблица 22 – Исходные данные к задаче № 21

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	10	19	80	86	40	6	25	52	20	15
H_1 , м	3,0	3,5	4,2	3,6	2,8	1,4	3,5	4,8	2,4	4,0
H_2 , м	2,0	3,0	3,4	2,7	2,4	1,1	3,1	3,9	1,8	2,2
D_2 , мм	50	80	150	150	125	50	100	125	80	50
h_f , м	2,1	2,8	3,0	2,2	2,4	2,6	2,7	1,5	1,9	2,0

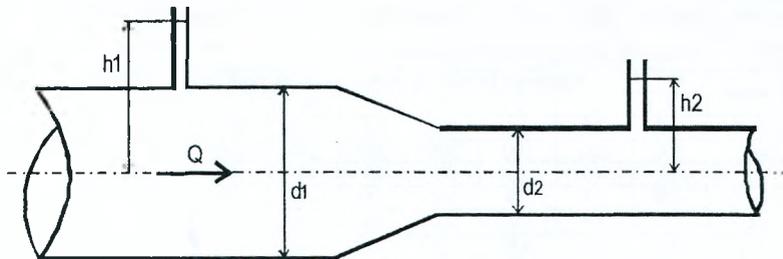


Рисунок 20 – Расчетная схема к задаче № 21

Задача № 22

По наклонному трубопроводу диаметром d подается вода в количестве Q . Давление воды в начальном участке сечения трубопровода p_1 . Определить давление во втором сечении, учитывая, что центр тяжести второго сечения расположен на 5 м ниже центра тяжести начального сечения, а потери напора h_f . Начертить пьезометрическую линию для участка трубопровода между сечениями. Как изменится давление, если сечения будут расположены на одном уровне?

Таблица 23 – Исходные данные к задаче № 22

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	200	250	125	150	250	300	125	100	80	350
Q , л/с	45	50	30	20	60	50	15	12	80	90
p_1 , кН/м ²	100	98	122	58	132	160	180	98,4	105	93,5
h_f , м	0,8	2,0	3,0	1,5	2,5	4,0	5,0	3,5	4,5	1,0

Задача № 23

Трубопровод, имеющий в сечении 1–1 диаметр d_1 , постепенно расширяется до диаметра d_2 в сечении 2–2. Центр тяжести сечения 1–1 расположен на z ниже центра сечения 2–2. Расход воды, пропускаемой по трубопроводу, равен Q . Принимая величину потерь равной h_f , определить разность давления между сечениями 1–1 и 2–2 и построить напорную линию для участка трубопровода между сечениями 1–1 и 2–2.

Таблица 24 – Исходные данные к задаче № 23

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	100	200	250	300	300	150	200	250	300	200
d_2 , мм	400	500	350	450	500	300	450	450	450	500
Q , м ³ /с	0,2	0,3	0,15	0,25	0,34	0,11	0,23	0,35	0,24	0,35
h_f , м	0,1	0,25	0,15	0,3	0,2	0,14	0,18	0,25	0,26	0,3
z , м	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0	3,0	3,5	3,0

Задача № 24

По горизонтальной трубке переменного сечения (d_1, d_2, d_3) протекает идеальная жидкость плотностью $\rho=1000$ кг/м³ с расходом Q . Давление в сечении 1–1 – p .

Определить пьезометрические высоты в сечениях 1–1, 2–2, 3–3 и построить напорную и пьезометрическую линии для участка трубопровода между указанными сечениями. Как изменятся высоты в сечениях, если жидкость реальная, а потери между сечениями составят соответственно h_{f1} и h_{f2} ?

Таблица 25 – Исходные данные к задаче № 24

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , кг/см ²	3,0	2,6	3,1	3,3	2,5	2,9	4,0	3,5	4,1	2,7
d_1 , мм	100	150	100	200	200	250	250	200	200	250
d_2 , мм	25	40	50	50	75	40	100	75	40	50
d_3 , мм	75	75	75	100	100	100	150	100	75	75
Q , л/с	10	18	12	24	35	16	40	35	15	20
h_{f1} , м	0,3	0,5	0,45	0,2	0,18	0,4	0,6	0,4	0,45	0,16
h_{f2} , м	0,4	0,6	0,65	0,3	0,25	0,2	0,3	0,3	0,55	0,25

Задача № 25

Вода течет по трубопроводу диаметром d со скоростью v . Внизу вода растекается во все стороны по радиусу между двумя круглыми параллельными пластинками диаметром D , расположенными на расстоянии a одна от другой. Пренебрегая потерями напора, определить давление в точках В, отстоящих на расстоянии $D/4$ от центра А, считая, что вода вытекает в атмосферу.

Таблица 26 – Исходные данные к задаче № 25

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	150	175	200	250	300	100	125	150	175	200
v , м/с	5	6	3	3	3	6	5	4	5	3
D , мм	800	825	850	900	1000	700	725	650	775	800
a , мм	30	35	40	30	30	30	35	35	40	40

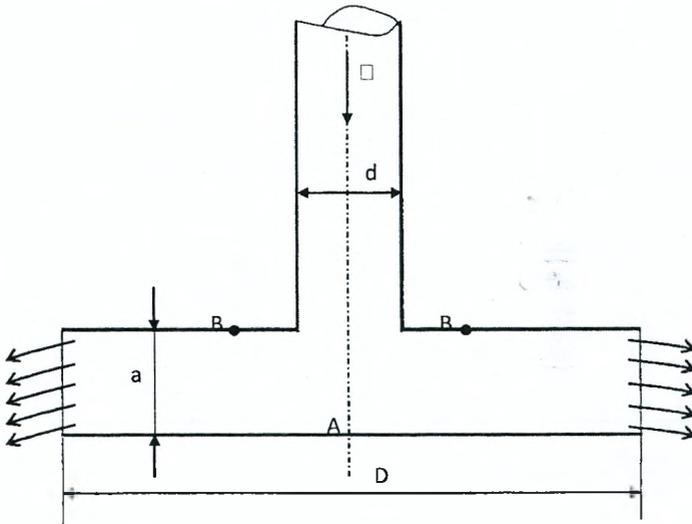


Рисунок 21 – Расчетная схема к задаче № 25

Задача № 26

Определить диаметр трубы для пропуска расхода воды Q при заданной глубине h и длине трубы L . Уровень в резервуаре постоянный, скоростным напором в резервуаре пренебречь. На каком расстоянии от конца трубы находится сечение, в котором вакуум равен $0,5 \cdot 10^4$ Н/м²? Коэффициент Дарси рассчитать по формуле: $\lambda = 0,02 + 0,0005 / d$.

Таблица 27 – Исходные данные к задаче № 26

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	0,010	0,008	0,012	0,006	0,004	0,013	0,011	0,015	0,009	0,016
h , м	0,80	0,90	0,95	1,00	1,20	0,23	0,70	1,10	0,96	1,40
L , м	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5

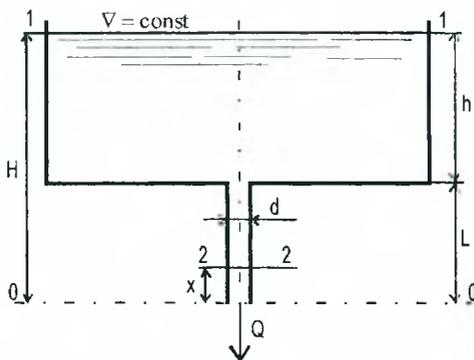


Рисунок 22 – Расчетная схема к задаче № 26

Задача № 27

Определить напор H , который необходимо поддерживать в резервуаре, чтобы расход воды, пропускаемой по трубопроводу диаметром d , равнялся Q . Угол закрытия крана α , длина трубы L . На трубопроводе имеются четыре поворота под углом 90° , $r/R_3=0,5$.

Таблица 28 – Исходные данные к задаче № 27

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,015	0,014	0,012	0,01	0,008	0,006	0,03	0,02	0,05	0,013
$d, \text{ м}$	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,09	0,08	0,2	0,11
$\alpha, \text{ град.}$	60	50	40	30	20	10	30	20	50	10
$L, \text{ м}$	90	80	70	60	50	40	30	20	15	75

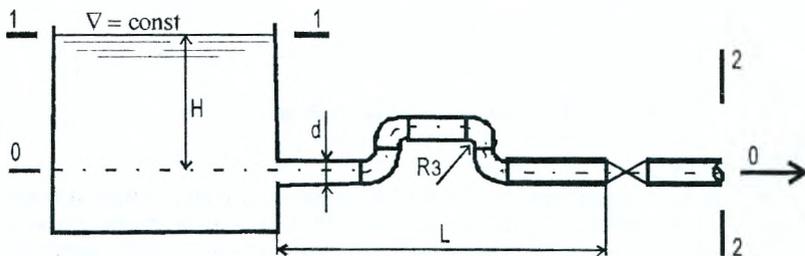


Рисунок 23 – Расчетная схема к задаче № 27

Задача № 28

На берегу реки предполагается установить насос для подачи воды из реки расходом Q . Определить расстояние от оси насоса до уровня воды в реке h_b . Длина всасывающей трубы L , трубы стальные новые. На всасывающей трубе установлен приемный клапан с сеткой, имеются три поворота трубы под углом 90° , с закруглением r/R_3 . Допустимая вакуумметрическая высота $h_{\text{бак}}$.

Таблица 29 – Исходные данные к задаче № 28

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,008	0,009	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,025	0,030
$L, \text{ м}$	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8
r/R_3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$h_{\text{вак}}, \text{ ДМ}$	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,4	5,8

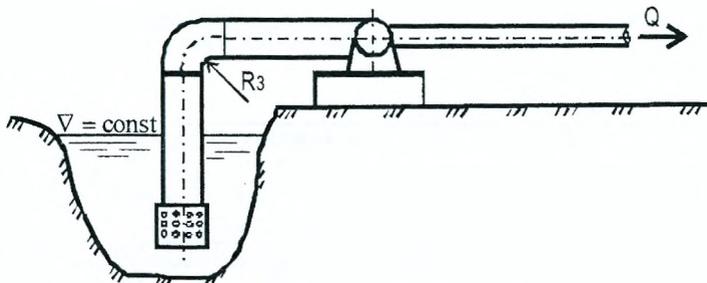


Рисунок 24 – Расчетная схема к задаче № 28

Задача № 29

Определить разность уровней в баке Z , которая обеспечивает расход воды Q по трубопроводу диаметром d . Степень открытия задвижки на трубопроводе a/d . Длина трубы L . На трубопроводе имеются четыре поворота с углами 90° со степенью закругления $r/R_3=0,7$. Скоростными напорами в баках пренебречь.

Таблица 30 – Исходные данные к задаче № 29

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,025
$d, \text{ м}$	0,10	0,08	0,06	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
a/d	1/4	3/8	4/8	5/8	3/4	7/8	1	1/4	3/8	1/2
$L, \text{ м}$	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180

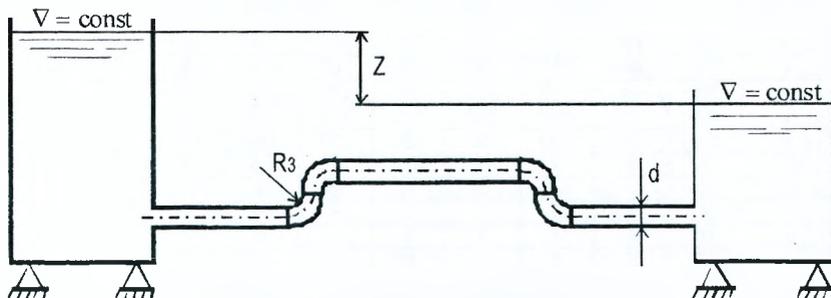


Рисунок 25 – Расчетная схема к задаче № 29

Задача № 30

По сифонному трубопроводу, для которого задан напор H , необходимо подавать расход воды Q , при условии, что вакуумметрическая высота в сечениях трубопровода не превосходит $h_{\text{вак}}=7$ м. Опасное сечение С-С расположено выше начального уровня воды на h , длина восходящей линии трубопровода до этого сечения равна L_1 , а нисходящей линии – L_2 . Трубопровод снабжен задвижкой и приёмным клапаном с сеткой. Повороты трубы в вертикальной плоскости равны $\alpha_1=30^\circ$ и $\alpha_2=40^\circ$.

Определить диаметр трубопровода $d=d_1=d_2$ и коэффициент сопротивления задвижки ζ , удовлетворяющие условиям задачи. Построить напорную линию по длине трубопровода.

Таблица 31 – Исходные данные к задаче № 30

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H , м	6	7	5	8	6,5	9	7,5	5,5	10	8,5
Q , л/с	50	55	45	60	70	65	75	60	80	60
h , м	4	4,5	4	5	4	5	5	4	4	4
L_1 , м	100	120	100	150	100	120	100	150	140	120
L_2 , м	60	70	50	60	50	70	60	80	70	60

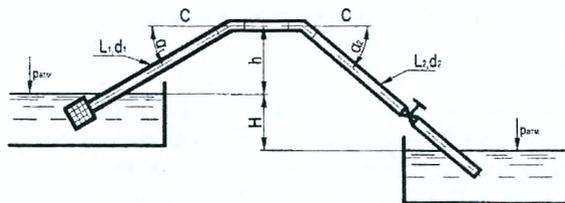


Рисунок 26 – Расчетная схема к задаче № 30

Задачи №№ 31–35

Определить отметку воды в баке (ВБ) водонапорной башни и построить пьезометрическую линию по магистрали 1-2-3-4 при $q'=0,5$ л/с; q_4 ; q_6 ; q_5 . Произвести расчет ответвлений.

Таблица 32 – Исходные данные к задачам №№ 31–35

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_{1-2} , м	150	300	120	370	350	600	500	460	420	380
l_{2-3} , м	200	350	230	180	200	200	450	380	320	450
l_{3-4} , м	300	400	170	230	150	150	150	270	480	200
l_{2-5} , м	400	200	400	200	300	300	200	180	180	160
l_{3-6} , м	350	150	300	150	180	250	180	320	240	210
q_4 , л/с	6	8	9	10	6,5	7	7,5	8,5	9,5	11
q_6 , л/с	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
q_5 , л/с	4	5	6	7	8	9	10	11	3	4
∇_4' , м	10	6	4	4	8	4	8	4	6	4
∇_6' , м	12	8	8	6	10	10	10	6	10	12
∇_5' , м	8	10	10	8	6	12	10	12	10	10

Примечание: для задач 31, 32, 33, 34, 35 табличные значения умножить соответственно на 1, 1; 1,2; 1,3; 1,4.

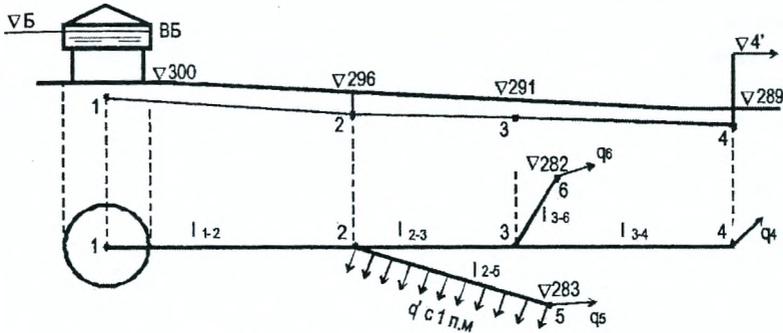


Рисунок 27 – Расчетная схема к задачам №№ 31–35

Задача № 36

В стальной трубопровод диаметром d и длиной l поступает сжатый воздух под избыточным давлением p_1 . Температура воздуха t . Скорость в начале трубопровода v_1 . Определить массовый расход воздуха M и давление в конце трубки p_2 .

Таблица 33 – Исходные данные к задаче № 36

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{мм}$	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
$l, \text{м}$	80	100	110	120	150	100	115	125	140	160
$p_1, \text{кПа}$	800	900	950	900	960	800	900	950	980	990
t, C°	10	20	30	25	20	10	40	10	20	30
$v_1, \text{м/с}$	25	30	25	20	22	15	16	20	15	15

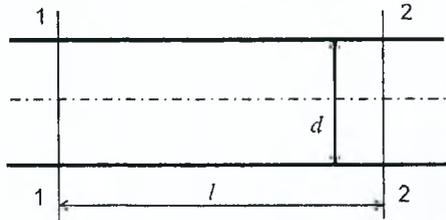


Рисунок 28 – Расчетная схема к задаче № 36

Задача № 37

Подобрать диаметры стального трубопровода для газопровода высокого давления, состоящего из трёх последовательно соединённых участков, расход газа при нормальных условиях Q , давления в p_1, p_2, p_3, p_4 , длины трубопроводов L_1, L_2, L_3 плотность газа при нормальных условиях $\rho = 0,79 \text{ кг/м}^3$, кинематическая вязкость $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Таблица 34 – Исходные данные к задаче № 37

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, л/с$	20	22	18	15	12	16	17	21	14	13
$p_1, кПа$	980	990	800	700	900	980	950	750	500	550
$p_2, кПа$	950	960	780	680	880	960	920	700	560	530
$p_3, кПа$	930	940	760	660	860	940	800	690	540	510
$p_4, кПа$	920	930	750	650	830	920	770	670	520	490
$L_1, м$	1100	1000	800	900	1200	700	1100	1000	900	800
$L_2, м$	1300	1200	1000	1200	1400	800	1500	1300	1000	1100
$L_3, м$	1600	1400	1200	1500	1600	1000	1500	1600	1400	1500

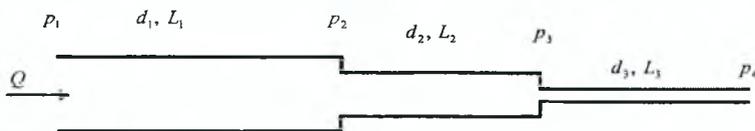


Рисунок 29 – Расчетная схема к задаче № 37

Задача № 38

Определить расход в параллельных ветвях газопровода Q_1 и Q_2 и суммарный расход газа Q , если начальное давление p_n , конечное p_k , диаметр ветвей d_1 и d_2 , длина ветвей $L_1=1000$ м, $L_2=2000$ м. Трубы стальные, плотность газа $\rho = 0,72$ кг/м³ и кинематическая вязкость $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с (при нормальных условиях). Расчёт провести по формулам и монограммам.

Таблица 35 – Исходные данные к задаче № 38

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_n, кПа$	990	960	930	900	850	830	800	750	720	700
$p_k, кПа$	930	920	900	870	810	800	770	700	700	650
$d_1, м$	0,108	0,112	0,095	0,083	0,121	0,06	0,076	0,112	0,89	0,152
$d_2, м$	0,102	0,219	0,168	0,152	0,245	0,159	0,180	0,245	0,219	0,273
$L_1, м$	1100	1200	1300	1400	1150	1250	1350	1550	1600	1700
$L_2, м$	2000	2000	2150	2500	2150	2100	2200	2500	2600	2500

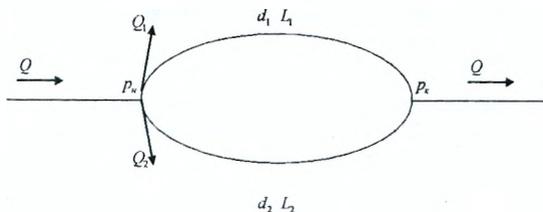


Рисунок 30 – Расчетная схема к задаче № 38

Задача № 39

Определить потери давления в системе магистрального газопровода, если давление в начале трубопровода p_1 , диаметр трубопровода: d_1, d_2, d_3 ; L_1, L_2, L_3 ; плотность газа принять при нормальных условиях; расход газа Q .

Таблица 36 – Исходные данные к задаче № 39

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_1, \text{кПа}$	500	600	700	550	650	750	400	450	200	550
$d_1, \text{м}$	0,5	0,6	0,7	0,55	0,65	0,75	0,4	0,45	0,3	0,35
$d_2, \text{м}$	0,3	0,4	0,5	0,35	0,45	0,55	0,25	0,3	0,2	0,25
$d_3, \text{м}$	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25	0,35	0,1	0,15	0,1	0,15
$L_1, \text{м}$	1000	1100	1200	1050	1150	1250	900	950	800	850
$L_2, \text{м}$	500	600	700	550	650	750	450	500	400	450
$L_3, \text{м}$	100	200	300	150	250	350	80	100	100	150
$Q, \text{л/с}$	11000	12000	1300	1150	1250	1350	1000	1050	900	950

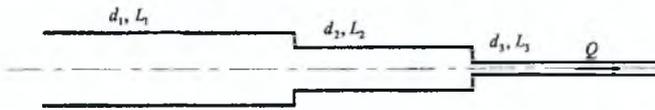


Рисунок 31 – Расчетная схема к задаче № 39

Задача № 40

Определить расход газа Q в системе газопровода, состоящей из последовательно соединенных стальных трубопроводов диаметрами d_1, d_2, d_3 . Длина трубопроводов: L_1, L_2, L_3 . Абсолютное давление в начальном сечении p_1 ; общий перепад давления Δp ; температура 0°C ; плотность газа принять приведенной к нормальным условиям; кинематическую вязкость принять по справочникам.

Таблица 37 – Исходные данные к задаче № 40

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\Delta p, \text{кПа}$	400	450	420	410	300	350	250	270	280	300
$d_1, \text{м}$	0,5	0,6	0,7	0,55	0,65	0,75	0,4	0,45	0,3	0,35
$d_2, \text{м}$	0,3	0,4	0,5	0,35	0,45	0,55	0,25	0,3	0,2	0,25
$d_3, \text{м}$	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25	0,35	0,1	0,15	0,1	0,15
$L_1, \text{м}$	1000	1100	1200	1050	1150	1250	900	950	800	850
$L_2, \text{м}$	500	600	700	550	650	750	450	500	400	450
$L_3, \text{м}$	100	200	300	150	250	350	80	100	100	150
$p_1, \text{МПа}$	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	1,9	1,8	1,7	1,6

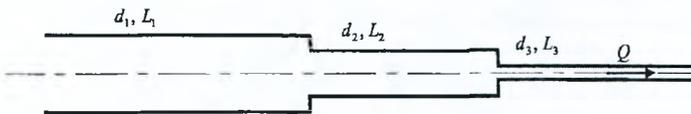


Рисунок 32 – Расчетная схема к задаче № 40

Задача № 41

Вода сливается из бака А в бак В по трубопроводу диаметром d и полной длиной, равной $2 \cdot L$. Из бака В вода выливается в атмосферу через цилиндрический насадок такого же диаметра d . Определить, какой напор H нужно поддерживать в баке А, чтобы уровень в баке В находился на высоте h .

Таблица 38 – Исходные данные к задаче № 41

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	50	60	80	25	32	40	75	60	50	80
h , м	2,0	1,0	1,5	2,5	2,2	2,0	1,8	2,0	1,5	2,0
$2 \cdot L$, м	8	9	10	5	6	7	8	8	10	11

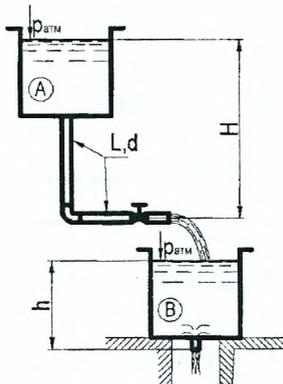


Рисунок 33 – Расчетная схема к задаче № 41

Задача № 42

Определить расход воды через отверстие с острой кромкой диаметром d , если показание манометра М перед отверстием равно p_M и высота расположения манометра над осью трубы h .

Как изменится расход, если к отверстию присоединить цилиндрический насадок (пунктиром)? Для насадка найти показания манометра, при котором произойдет срыв режима работы, принимая, что срыву соответствует абсолютное давление в сжатом сечении струи, равное нулю. Давление на выходе из насадка атмосферное.

Таблица 39 – Исходные данные к задаче № 42

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	120	100	125	150	80	60	100	120	125	80
D , мм	200	200	200	250	250	175	300	300	250	200
p_M , МПа	0,1	0,15	0,12	0,2	0,15	0,1	0,2	0,15	0,2	0,17
h , м	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4	0,45	0,55	0,65	0,75

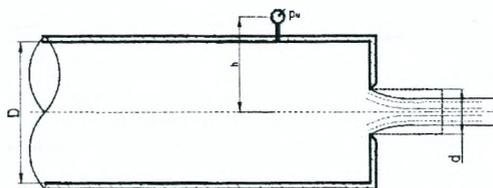


Рисунок 34 – Расчетная схема к задаче № 42

Задача № 43

Вода из верхней секции замкнутого бака перетекает в нижнюю секцию через отверстие d_1 , а затем через цилиндрический насадок d_2 вытекает в атмосферу.

Определить расход через насадок, если при установившемся режиме известно показание манометра M , а уровни в водомерных стеклах для каждой секции соответственно равны h_1 и h_2 .

Найти при этом избыточное давление p_x над уровнем воды в нижней секции бака.

Таблица 40 – Исходные данные к задаче № 43

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1 , мм	30	35	40	45	50	30	25	35	20	40
d_2 , мм	20	25	30	35	40	25	20	25	10	32
h_1 , м	2,0	1,8	1,5	1,0	1,0	3,0	2,1	1,8	2,0	1,0
h_2 , м	3,0	2,8	2,5	2,0	2,0	4,0	3,1	3,5	3,0	2,5
p_m , кПа	50	45	40	35	30	60	65	50	60	40

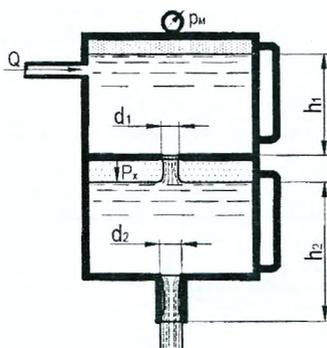


Рисунок 35 – Расчетная схема к задаче № 43

Задача № 44

Для насадка, составленного из двух цилиндрических патрубков, диаметрами d и D , определить коэффициент сопротивления и расхода.

Найти величину предельного напора $H_{пр}$ в случае истечения воды в атмосферу, принимая, что при $H=H_{пр}$ вакуумметрическая высота в наименьшем сечении потока достигает $h_{вак}$.

Построить напорную линию.

Таблица 41 – Исходные данные к задаче № 44

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	30	40	50	60	20	35	45	55	30	40
D , мм	60	70	80	100	50	70	80	90	50	60
$h_{\text{вкл.}}$, м в. ст.	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8

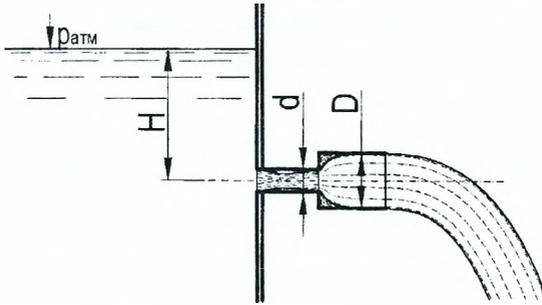


Рисунок 36 – Расчетная схема к задаче № 44

Задача № 45

В бак, разделенный на две секции перегородкой, имеющей круглое отверстие диаметром d с острой кромкой, поступает вода в количестве Q . Из каждой секции вода вытекает через цилиндрический насадок, диаметр которого равен диаметру отверстия в перегородке.

Определить расход через каждый насадок при установившемся режиме, предполагая, что отверстие в перегородке является затопленным.

Как надо изменить диаметр насадка в левой секции, чтобы расходы через оба насадка стали равными между собой?

Таблица 42 – Исходные данные к задаче № 45

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	100	50	60	75	50	40	45	50	55	65
Q , л/с	80	40	45	50	60	30	35	45	50	55

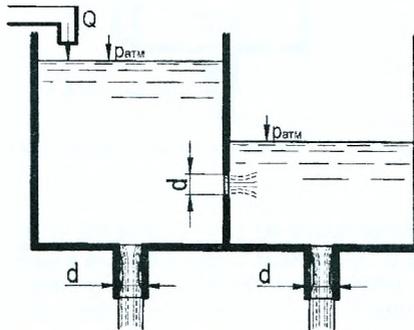


Рисунок 37 – Расчетная схема к задаче № 45

Задача № 46

В стальном трубопроводе длиной L , диаметром d и толщиной δ расход воды Q . Расчётная температура воды $t^\circ\text{C}$. Определить наименьшее время закрывания задвижки $t_{\text{мин}}$, чтобы повышение давления в конце трубопровода, вызванное гидравлическим ударом, было не более $\Delta p_{\text{макс}}$. Чему будет равно повышение давления в случае мгновенного закрывания задвижки в трубопроводе?

Таблица 43 – Исходные данные к задаче № 46

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L, \text{ м}$	250	300	350	280	400	500	450	420	550	200
$d, \text{ м}$	0,15	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,3	0,2	0,3	0,175
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,08	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,2	0,18	0,25	0,2
$\delta, \text{ мм}$	0,05	0,5	0,3	0,05	0,1	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05
$t, ^\circ\text{C}$	18	20	22	25	28	20	20	15	20	20
$\Delta p, \text{ кПа}$	300	400	350	380	390	400	200	250	300	300

Задача № 47

В конце системы, состоящей из двух последовательно соединённых стальных трубопроводов, установлена задвижка.

Определить повышение давления перед задвижкой при её закрывании, если время закрывания t ; расход воды Q ; диаметры трубопроводов d_1, d_2 ; длины l_1, l_2 . Определить наименьшее время закрывания задвижки, исключаяющее прямой гидравлический удар. Толщина стенок трубопровода δ , температура воды T .

Таблица 44 – Исходные данные к задаче № 47

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t, \text{ с}$	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,45	0,2	0,3	0,35	0,25
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,02	0,025	0,025	0,03	0,02	0,04	0,015	0,05	0,045	0,03
$d_1, \text{ м}$	0,2	0,25	0,2	0,3	0,15	0,2	0,01	0,03	0,035	0,3
$d_2, \text{ м}$	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,1	0,008	0,15	0,2	0,15
$l_1, \text{ м}$	200	250	300	350	200	400	250	400	300	300
$l_2, \text{ м}$	400	350	400	420	300	250	10	200	150	100
$\delta, \text{ мм}$	5,5	5	8	8	8	10	5	10	8	5
$T, ^\circ\text{C}$	21	20	15	10	4	10	18	15	20	10

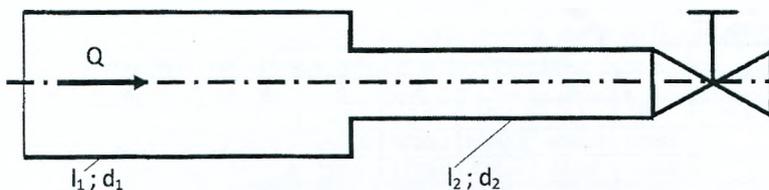


Рисунок 38 – Расчетная схема к задаче № 47

Задача № 48

Какую ширину по дну должен иметь трапецидальный канал длиной L , если для пропуска расхода Q при глубине наполнения h используется разность отметок дна H ? Коэффициент шероховатости $n=0,020$.

Таблица 45 – Исходные данные к задаче № 48

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L , км	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0	6,0	9,0	10,0	12,0	11,0
Q , м ³ /с	10	15	12	19	30	9	18	6	40	5
h , м	1,2	1,8	1,4	2,0	2,7	1,4	1,6	1,1	4,3	1,0
H , м	2,0	3,2	6,0	4,8	3,0	9,6	4,5	4,2	3,6	5,0
Грунты	песок мелк.	супесь	суглинок	песок средн.	супесь плотн.	суглинок	тяж. сугл.	торф	глина	сугл. легкий

Задача № 49

Определить глубину трапецидального канала, который пропускает расход Q , ширина по дну b . Уклон дна канала i проверить из условия неразмыва русла канала.

Таблица 46 – Исходные данные к задаче № 49

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	0,5	0,8	1,2	1,5	3,0	3,5	4,0	2,0	1,0	5,0
b , м	0,4	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	2,0
i	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0008	0,001	0,002	0,0008	0,0004	0,001
Грунты	песок пылев.	глина	супесь	суглинок	песок мелк.	песок средн.	песок крупн.	суглинок	гравий	глина
Условия содержания канала	норм. состояниис	выше средн.	средне	плотн.	средне	сравнительно плотн.	выше средн.	норм. сост.	затянут илист. пленкой	выше средн.

Задача № 50

Рассчитать трапецидальный канал при известных величинах: Q , m , n , i , β .

Таблица 47 – Исходные данные к задаче № 50

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	1,0	1,5	1,76	2,0	2,2	1,8	5,0	18,0	20,0	3,0
i	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008	0,0010	0,0006
n	0,020	0,014	0,017	0,0275	0,025	0,0275	0,030	0,020	0,025	0,0225
β	2,6	3,8	2,2	3,1	1,95	2,5	3,4	4,2	4,5	3,0
Грунты	сугл. средн.	супесь	песок мелк.	песок крупн.	супесь плотн.	торф	глина	сугл. легкий	песок крупн.	песок средн.

3. Методические указания для решения задач

Задача № 1

Для решения задачи необходимо применить закон равновесия несжимаемой жидкости для плоскости 1-1 для левой и правой трубки с чашками

$$P_{\text{лев}} = P_{\text{прав}} \quad (63)$$

Выразив $p_{\text{лев}}$ и $p_{\text{прав}}$ через соответствующие параметры, получим уравнение с двумя неизвестными. Для определения Δh необходимо применить уравнение постоянства объёма жидкости в системе:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \Delta h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \quad (64)$$

Решая совместно уравнения (63) и (64), определяем p .

Задача № 2

Решая задачу, необходимо составить уравнения равновесия колокола

$$F_{\text{дав}} = G \quad (65)$$

и уравнение равновесия жидкости по уровню воды в колоколе на высоте b . Полученные уравнения содержат три неизвестные. Поэтому необходимо записать третье уравнение изотермического процесса сжатия воздуха. Решая совместно три этих уравнения, получим искомую величину h . Зная величину h и предположив, что $h = H$, можно найти максимальный вес колокола $G_{\text{тах}}$, при котором он целиком погрузится в воду.

Задача № 3

Давление воздуха в колоколе p_x при его погружении на глубину 12 м с одной стороны и абсолютное давление со стороны воды на её уровне в колоколе равны. Уравнение равновесия, где давление внутри водолазного колокола измеряется ртутным барометром:

$$P_x = \gamma_{\text{рт}} \cdot x \quad (66)$$

Из уравнения равновесия определяем показания ртутного манометра x . Для определения показания ртутного манометра с «постоянным» нулём после подсоединения его к кранам также составляются уравнения равновесия со стороны воды через краны на поверхность ртути и со стороны колокола на ртуть в трубке манометра. При составлении уравнения необходимо учесть, что поверхность ртути в манометре находится на высоте 0,7 м от уровня воды в колоколе.

Задача № 4

Давление воздуха в резервуаре В необходимо определить из уравнения равновесия, составленного для трёх жидкостей: воды, ртути и спирта. Наметив плоскость, например по нижнему уровню ртути, записывают уравнения слева от плоскости и справа.

Задача № 5

Высоту столба жидкости H в опрокинутой трубке определяют из уравнения равновесия, составленного по уровню воды в резервуаре. При составлении уравнения необходимо учесть, что в трубке образуется вакуум, величина которого зависит от температуры воды, т.е. давления насыщенных паров и плотности жидкости.

Задача № 6

Составляется уравнение равновесия со стороны светильного газа и воды, а также со стороны груза и веса газгольдера:

$$P_u = \gamma \cdot h; \quad (67)$$

$$P_u \cdot \omega + Q = G. \quad (68)$$

Из этих уравнений определяется h и Q . Предельная величина давления определяется из учёта веса газгольдера и груза.

Задача № 7

Для решения задачи необходимо определить давление в топке на уровне дверки котла и давление перед дверкой. Разность этих давлений и составит тягу Δp :

$$P_\tau = P_{амт} + P_\tau; \quad (69)$$

$$P = P_{амт} + P_{возд}; \quad (70)$$

$$\Delta p = P_\tau - P. \quad (71)$$

Задача № 8

Рассматривая давление вне и внутри трубы в сечениях на уровне первого этажа и последнего (второе сечение), можно записать уравнения:

$$P_{вн(2-2)} = P_{вн(1-1)} - \rho_{вн} g H; \quad (72)$$

$$P_{н(2-2)} = P_{н(1-1)} - \rho_{н} g H, \quad (73)$$

где H – высота здания.

Вычитая второе уравнение из первого и учитывая, что манометрическое давление равно:

$$P_{ман} = P_{абс} - P_{амт}, \quad (74)$$

находим зависимость между манометрическими давлениями по высоте стояка.

Задача 9

В случае когда $\rho = \text{const}$ давление определяется из уравнения:

$$p = p_0 - \rho g H, \quad (75)$$

где $\rho = \frac{P}{RT}$.

Если определять давление при изотермическом процессе, то

$$p = p_0 e^{-gH/RT}. \quad (76)$$

Задача № 10

Давление в точке А внутри камеры

$$p_A = p_0 - \rho_1 h_1 g. \quad (77)$$

Давление наружного воздуха на высоте точки А

$$p_A^* = p_0 - \rho_0 h_1 g. \quad (78)$$

Разность давлений

$$\Delta p_A = p_A - p_A^*. \quad (79)$$

Аналогично находим и для точки В.

Задача № 11

При решении этой задачи необходимо использовать аналитический способ. Сила гидростатического давления, действующая на плоские поверхности, равна:

$$P = \gamma \cdot h_{\text{цт}} \cdot \omega, \quad (80)$$

где $h_{\text{цт}}$ – глубина погружения центра тяжести данной плоской поверхности (затвора) под уровень воды (для случая прямоугольника центр тяжести находится на пересечении диагоналей; для треугольника – на пересечении медиан, для равностороннего – на расстоянии $2/3$ от вершины угла); ω – площадь плоской поверхности, на которую действует вода.

Зная угол наклона α , необходимо найти величину l , которая будет равна:

$$l = \frac{h - a}{\sin \alpha}. \quad (81)$$

По l и b определяют площадь прямоугольника и треугольника.

Точка приложения силы гидростатического давления определяется по уравнению:

$$h_{\text{цт}} = h_{\text{цт}} + \frac{I}{\omega \cdot h_{\text{цт}}}, \quad (82)$$

где I – момент инерции затвора вокруг горизонтальной оси.

При решении этой задачи необходимо составить расчётную схему.

Задача № 12

Решение этой задачи нужно произвести, используя пояснение [1] стр. 49, 1972; стр. 62, 1982, 2005.

Задача № 13

Составляется расчётная схема. Равнодействующая сила гидростатического давления, действующая на вертикальную плоскую стенку, будет равна:

$$P = P_1 - P_2, \quad (83)$$

где P_1 – сила гидростатического давления, действующая слева; P_2 – сила гидростатического давления, действующая справа.

Обе эти силы определяются по формуле (80), приведённой в задаче 11.

Точку приложения силы гидростатического давления находят из уравнения моментов, составленных для сил, действующих на затвор. Для того чтобы составить уравнения моментов, необходимо вначале определить точки приложения силы P_1 и P_2 (формула (82)).

При графическом способе решения в масштабе составляют расчётную схему затвора. Строят эпюру гидростатического давления. Точка приложения силы находится в плоскости на расстоянии $\frac{2}{3} \cdot h$ от поверхности воды. Результирующая сила будет равна площади суммарной эпюры. В данном случае – площадь трапеции. Точка приложения результирующей силы будет проходить через центр тяжести трапеции. Графическим способом находят центр тяжести трапеции и проводят силу P .

Величина силы P , найденная обоими способами, должна быть равной.

Задача № 14

Определяем силу давления воды в нижней точке затвора по формуле:

$$P = \gamma \cdot h_{c,m} \cdot \omega = \frac{1}{2} \gamma H^2 b. \quad (84)$$

На каждый ригель действует сила

$$P_1 = \frac{P}{n}. \quad (85)$$

Строим эпюру гидростатического давления на затворе и делим её на четыре равновесные части и находим расстояния от свободной поверхности до нижней границы эпюры, приходящейся на расположенные выше ригеля.

Для первого ригеля

$$P_1 = \frac{P}{n} = \frac{\gamma \cdot H^2 b}{n} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h_1 b, \quad (86)$$

где n – число ригелей; h_1 – расстояние от поверхности воды до нижней границы эпюры первого ригеля

$$h_1 = H \sqrt{\frac{1}{n}}. \quad (87)$$

Проанализировав остальные ригели, можно получить:

$$h_2 = H \sqrt{\frac{2}{n}}; \quad (88)$$

$$h_3 = H \sqrt{\frac{3}{n}}; \quad (89)$$

$$h_4 = H \sqrt{\frac{4}{n}} = H. \quad (90)$$

Для первого ригеля центр тяжести эпюры (прямоугольный треугольник) определим по формуле:

$$x_1 = \frac{2}{3} h. \quad (91)$$

Для остальных ригелей эпюрами являются прямоугольные эпюры. Центры тяжести определяем по формуле:

$$x_i = l_{цт} + \frac{I_0}{\omega \cdot l_{цт}} \quad (92)$$

или иначе для второго ригеля

$$x_2 = \frac{h_2 - h_1}{2} + \frac{b(h_2 - h_1)^3 \cdot 2}{12b(h_2 - 1)(2h_1 + h_2 - h_1)} \quad (93)$$

Величины x_3 и x_4 определяются аналогично предыдущей формуле с учётом глубин h_2 , h_3 и h_4 .

Задача № 15

Вначале определяем силу гидростатического давления, действующую на затвор справа P_1 , а затем P_2 , действующую слева. Равнодействующая по формуле (83).

Сила гидравлического давления, действующая на плоский затвор, определяется по формуле (80).

Затем определяем точки приложения этих сил по формуле (82).

Величину x определяем из уравнения моментов, составленного для найденных сил относительно точки O .

Задача №№ 16-20

Данные задачи решаются путём нахождения силы гидростатического давления, действующей на криволинейные поверхности

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (94)$$

где $P_x = \gamma \cdot h_{цт} \cdot \omega$; $P_z = \gamma \cdot W$.

При определении вертикальной составляющей P_z , важной частью решения является определение «тела давления» W .

Задача № 21

При решении этой задачи необходимо использовать уравнение Бернулли для идеальной жидкости и уравнения неразрывности для потока, записанные для двух сечений:

$$\left. \begin{aligned} z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} &= z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \\ \omega_1 v_1 &= \omega_2 v_2 = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (95)$$

Для круглой трубы площадь равна $\frac{\pi d^2}{4}$.

Задача № 22

Записывается уравнение Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения, плоскость, проходящую через центр тяжести сечения 2-2.

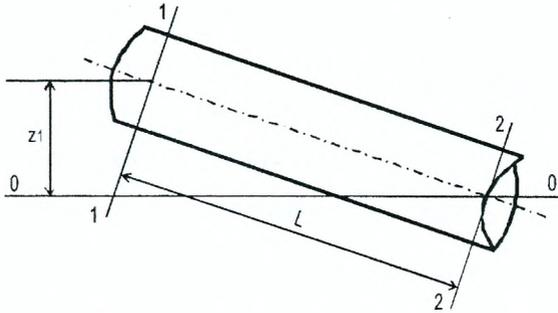


Рисунок 39 – Участок трубопровода

Потери напора по длине определяются как для «коротких» труб. Коэффициент гидравлического трения (λ) зависит от области сопротивления, для чего необходимо найти число Рейнольдса. Трубы принимаются новые, стальные.

Задача № 23

Записывается уравнение Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения плоскость, проходящую через центр тяжести первого сечения. Потери напора при резком расширении определяются по формуле:

$$h_{\text{пр}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}. \quad (96)$$

Задача № 24

Записывается уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2. Отсюда определяется $\frac{P_2}{\gamma}$, затем для сечений 2-2 и 3-3 находится $\frac{P_3}{\gamma}$. При решении уравнения скорость v и скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$ определяются по заданному расходу и диаметрам.

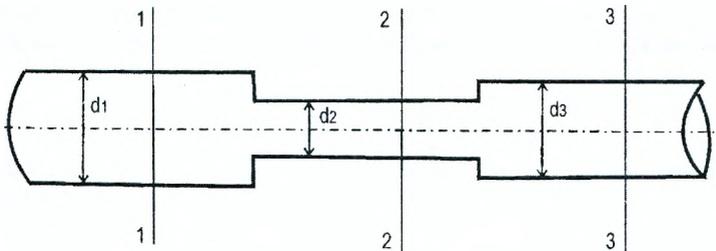


Рисунок 40 – Схема участка трубопровода переменного сечения

Задача № 25

Необходимо записать уравнение Бернулли для сечения 1–1, проходящего через точку В, и 2–2 – на выходе из пластин.

Скорость в сечении 1–1 необходимо определить из условия, что площадь живого сечения равна

$$\omega_1 = \frac{\pi D}{4} a. \quad (97)$$

Для второго сечения

$$\omega_2 = \pi D \cdot a. \quad (98)$$

Задача № 26

Для определения диаметра трубы составляется уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 0–0, приняв за плоскость сравнения плоскость 0–0

$$h + l = \frac{v^2}{2g} + h_f. \quad (99)$$

где h_f – потери напора в трубе

$$h_f = h_j + h_l. \quad (100)$$

Здесь

$$h_j = \zeta'_{\text{вх}} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (101)$$

Кроме того, h_l – потери по длине и определяются по формуле:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (102)$$

Скорость $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ зависит от диаметра, поэтому, подставляя необходимые значения в уравнение Бернулли, дальнейшее решение производят методом подбора. Задавая стандартным диаметром d , определяют величину правой части уравнения и сравнивают ее с левой.

Для определения расстояния x до сечения, в котором вакуум равен 5 кПа, составляют уравнение Бернулли для сечений 2–2 и 0–0. Потери напора от сечения 2–2 до 0–0 принимают как потери по длине на расстоянии x .

Задача № 27

Напор H находится из уравнения Бернулли, записанного для сечений 1–1 и 2–2, приняв за плоскость сравнения плоскость 0–0:

$$H = \frac{v^2}{2g} + h_f, \quad (103)$$

где h_f – потери напора на участке между сечениями 1–1 и 0–0:

$$h_f = h_j + h_l. \quad (104)$$

$$h_j = \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (105)$$

Здесь $\sum \zeta$ – суммарный коэффициент потерь напора в трубе, h_f – потери по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха (см. предыдущую задачу).

Коэффициент гидравлического трения (λ) определяется по формуле (34).

Задача № 28

Записав уравнение Бернулли для сечения 1–1, проходящего по уровню воды в реке, и сечения 2–2, проходящего через ось насоса (плоскость сравнения 0–0, проходящую через сечение 1–1), можно найти h_b :

$$\frac{p_{\text{атм}}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_b + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f. \quad (106)$$

где $v_1 \approx 0$, а скорость во втором сечении нельзя определить, так как диаметр всасывающей трубы неизвестен.

Поэтому в начале принимается рекомендуемая скорость для всасывающих труб $v = 0,8 \dots 1,0$ м/с и определяется d . Полученный диаметр сравнивают со стандартным (50, 60, 75, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 мм). Приняв стандартный диаметр, определяют действительную скорость в трубе. Потери гидравлического напора определяются аналогично, как и в задаче № 27.

Задача № 29

Составляется уравнение Бернулли для соответствующих сечений при истечении под уровень, и дальнейшее решение производится по аналогии с задачей № 27.

Задача № 30

Необходимо составить уравнение Бернулли вначале для восходящей части сифона, а затем для нисходящей. Слева первое сечение назначить по уровню воды в резервуаре, второе – по опасному сечению С–С.

Справа – для сечения С–С и сечения, назначенного по уровню приёмного резервуара.

Из уравнения Бернулли для восходящей части сифона определяют диаметр трубы d , считая, что трубы новые стальные, а коэффициент сопротивления $\lambda = 0,02$.

Из уравнения Бернулли для нисходящей части сифона определяют $\zeta_{\text{зад}}$ при заданном Q и определённом диаметре трубы d .

Задачи №№ 31–35

При решении этих задач необходимо учесть то, что табличные данные варианта необходимо умножить на соответствующий коэффициент, указанный под таблицей.

Затем устанавливают расчетные расходы для участков сети. Учитывая то, что по условию задачи магистраль задана 1–2–3–4, расходы определяют для нее, а затем для ответвлений 2–5 и 3–6.

Расчетный расход какого-либо участка сети равняется сумме расходов, забираемых из сети ниже по течению. Так, для участка 4-3 (расчет начинают с конца магистрали) расчетный расход равен $Q_{4-3} = q_4$;

$$3-2 - Q_{3-2} = Q_{4-3} + q_6 = q_4 + q_6;$$

$$2-1 - Q_{2-1} = Q_{3-2} + q_5 + q' \cdot l_{2-5} = q_4 + q_6 + q_5 + l \cdot q'.$$

Расчетный расход для ответвления 2-5 будет равен $Q_{2-5} = q_5 + 0,5 \cdot q' \cdot l_{2-5}$.

Определение расходов удобнее вести в табличной форме (таблица 48).

Таблица 48 – Определение расчетных расходов

Узлы	Узловые расходы $q, \text{ м}^3/\text{с}$	Участки	Расчетные расходы на участках $Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1	2	3	4
4			
		4-3	
3			
		3-2	
2			
		2-1	
1			

Расчет магистрали ведут по расходам, установленным в таблице 48. Длины участков даны по схеме в таблице исходных данных к задаче.

Порядок расчета по всей задаче приведен в [2] стр. 186-187.

Задачи №№ 36-40

Методика решения этих задач приведена в [3] §41.

Задача № 41

При истечении из бака В через цилиндрический насадок при напоре h расход равен:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (107)$$

где μ – коэффициент расхода цилиндрического насадка.

Для определения H составляется уравнение Бернулли для сечений по уровню воды в баке А и выходному сечению трубы. Решая это уравнение, определяются H .

Задача № 42

При истечении из отверстия расход определяется по формуле:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \quad (108)$$

где H – полный напор над центром отверстия.

$$H_0 = \frac{P}{\gamma} + h + \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (109)$$

здесь v – скорость подхода к отверстию.

Замена отверстия насадком меняет коэффициент расхода μ в расходной формуле, т.е. $\mu = \mu_n$, который нужно применять по справочной литературе.

Задача № 43

Количество воды вытекающей из отверстия:

$$Q_1 = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \quad (110)$$

где $H_0 = h_1 + \frac{P_m}{\gamma} - \frac{P_x}{\gamma}$.

Так как режим установившийся, то количество воды, вытекающей из насадки Q_2 , должно быть равно количеству воды, поступающей из верхней секции в нижнюю секцию из отверстия $Q_1 = Q_2$.

$$Q_2 = \mu_n \cdot \omega_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}; \quad (111)$$

$$H_0 = \frac{P_x}{\gamma} + h_2; \quad (112)$$

$$Q_2 = \mu_n \cdot \omega_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{P_x}{\gamma} + h_2 \right)}. \quad (113)$$

Здесь p_x – давление на поверхности воды во второй секции. Из этого уравнения определяется p_x .

Задача № 44

Для определения коэффициента сопротивления такого насадка нужно исходить из того, что вначале необходимо найти коэффициент сопротивления первого патрубка ζ_1 . Его можно определить по формуле:

$$\zeta_1 = \zeta_0 \cdot \frac{1}{\varepsilon_x} + \left(\frac{1}{\varepsilon_x} - 1 \right)^2, \quad (114)$$

где ζ_0 – коэффициент сопротивления отверстия с острой кромкой; ε_x – коэффициент сжатия струи при входе в насадок.

При расчетах считать квадратичную зону истечения.

Коэффициент сопротивления второго ζ_2 необходимо рассчитать из условия резкого расширения патрубков

$$\zeta_2 = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2, \quad (115)$$

где ω_2 – площадь сечения второго патрубка; ω_1 – площадь сечения первого патрубка.

Общий коэффициент сопротивления системы будет равен

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2. \quad (116)$$

Коэффициент расхода рассчитать по общепризнанным формулам.

Предельный напор можно подсчитать по формуле:

$$H_{np} = \frac{P_{атм} - P_{н.п}}{2 \cdot \varphi^2 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_x} - 1 \right) \cdot \gamma}, \quad (117)$$

где $p_{н.п}$ – давление паров жидкости.

Температуру воды принять равной $t = 20^\circ\text{C}$.

Задача № 45

При истечении из затопленного отверстия перепад будет равен

$$z = \frac{Q^2}{\mu^2 \cdot \omega^2 \cdot 2 \cdot g} \quad (118)$$

При установившемся режиме истечения из насадков рассчитать по основной формуле:

$$Q = \mu_n \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (119)$$

где H – напор на цилиндрическом насадке.

Длину насадков считать одинаковой.

Задачи №№ 46, 47

Порядок и пример расчета приведен в [3] (пример 5.6 и 5.7).

Задача № № 48, 49

Эти задачи решаются подбором по уравнению $Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{Ri}$, задавая рядом значений b или h . Расчет лучше вести в табличной форме (таблица 49).

По данным таблицы 49 строится график $Q = f(b)$ и $Q = f(h)$. По графику для заданного расхода определяется требуемая величина h или b .

Таблица 49 – Расчёт канала трапециидального сечения

$b(h)$ м	$\omega = (b + mh)h$ м ²	$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ м	$R = \frac{\omega}{\chi}$ м	$C = \frac{1}{n} + 17,72 \cdot \lg R$ м ^{0,5} /с	$C\sqrt{R}$	$Q = \omega C \sqrt{Ri}$, м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7

Правильность расчета можно проверить, например, по способу Н.Н. Агроскина. Вычисляется $F(R_{гн}) = \frac{1}{4 \cdot m_0} \cdot \frac{Q}{\sqrt{i}}$, по функции в таблице X [2] находят

ся $R_{гн}$. Зная $R_{гн}$ определяется отношение, например $\frac{b}{R_{гн}}$, и по таблице XI [2]

находится $\frac{h}{R_{гн}}$. Отсюда $h = \frac{h}{R_{гн}} \cdot R_{гн}$.

В задаче 48 коэффициент заложения откоса определяют по справочной литературе в зависимости от грунта, например [4], таблица 8–1.

В задаче 29 коэффициент шероховатости выбирают по условиям содержания канала.

Задача № 50

Расчет этой задачи приведен в [2] стр. 221–224.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чугаев, Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1982. – С. 672.
2. Андреевская, А.В. Задачник по гидравлике / А.В. Андреевская [и др.] – М.: Энергия, 1970. – С. 566.
3. Примеры расчетов по гидравлике / Под ред. А.Д. Альтшуля. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 256.
4. Справочник по гидравлическим расчетам / Под редакцией П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – С. 314.
5. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев – М.: Стройиздат, 1975. – С. 328.
6. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Под редакцией Н.Н. Куколевского, Л.Г. Подвидза. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 472.
7. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стальных водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев – М.: Стройиздат, 1986.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составитель:
Громик Николай Васильевич
Мешик Олег Павлович
Шешко Николай Николаевич

Методические указания и контрольные задания

по курсу “Механика жидкости и газа”

для студентов специальности 1 – 70 04 02

“Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна”

Ответственный за выпуск: Громик Н.В.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 6.08.2013 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 3,49. Уч. изд. л. 3,75. Заказ № 1405. Тираж 60 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.